

Stereoskopische 3D Anzeigen für Fluglotsenarbeitsplätze

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Philosophischen Fakultät II
Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft der Universität Regensburg

Vorgelegt von

Andreas Baier

Regensburg 2012

Erstgutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. Alf C. Zimmer

Zweitgutachter: Prof. Dr. Hans Gruber

Drittgutachter: Prof. Dr. Andreas Mühlberger

Obergutachter: Prof. Dr. Mark W. Greenlee

Die Dissertation wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „iPort“ erstellt

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Beanspruchung von Fluglotsen & Leistung der Flugsicherung	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Fokus auf den Anflugkontrollbereich.....	4
2 Forschungs- & Entwicklungsstand	5
2.1 Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.....	5
2.1.1 Grundlegendes zur Schnittstellengestaltung	5
2.1.2 Kernaufgaben eines Fluglotsen	6
2.1.3 Gegenwärtiges Arbeitsplatzkonzept	7
2.1.4 Situations- & Umgebungsfaktoren.....	8
2.1.5 Anforderungen & Anforderungsbewältigung.....	8
2.2 Weiterentwicklungen & neue Konzepte	14
2.2.1 Weiterentwicklungen bisheriger Anzeigen	14
2.2.2 Dreidimensionale Anzeigen für Flugsicherungszwecke.....	16
2.3 Zusammenfassende Beurteilung	25
3 Grundlagen & Ziele	29
3.1 Annahmen & theoretische Modelle	30
3.1.1 Unsicherheit bei der Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen	31
3.1.2 Aufgabenmerkmale	31
3.1.3 Menschliche Informationsverarbeitung.....	32
3.1.4 Expertise	40
3.1.5 Gütekriterien empirischer Untersuchungen	41
3.1.6 Störfaktoren & Kontrollvariable.....	44
3.2 Zielsetzungen	48
3.3 Aufbau & Ablauf	49
4 Entwicklung stereoskopischer 3D Anzeigekonzepte	49
4.1 Randbedingungen.....	49
4.2 2D Referenzkonzept.....	51
4.3 Stereoskopische 3D Anzeigekonzepte.....	52

Inhaltsverzeichnis

5 Evaluation	56
5.1 Fragestellungen.....	56
5.2 Methodisches Vorgehen & Ablauf	57
5.2.1 Entwicklung repräsentativer Szenarien	58
5.2.2 Operationalisierung von Beurteilungskriterien.....	66
5.2.3 Stichprobenzusammensetzung & Probandenauswahl	79
5.2.4 Konfliktbeurteilungstraining & Trainingsszenarien	81
5.2.5 Untersuchungsdurchführung	87
5.3 Ergebnisse & Interpretation	89
5.3.1 Vorgehensweise.....	89
5.3.2 Stichprobenbeschreibung	90
5.3.3 Szenarienmerkmale	92
5.3.4 Situationsmerkmale	107
5.3.5 Personenmerkmale.....	115
5.3.6 Anzeigemerkmale	131
5.4 Zusammenfassende Beantwortung der Fragestellungen.....	146
6 Diskussion & Ausblick.....	150
6.1 Beitrag zum Forschungs- & Entwicklungsstand	150
6.2 Beurteilung der Vorgehensweise & Methodik	155
6.3 Ergebnisbewertung bezüglich Zielsetzung & Problemstellung.....	159
6.4 Weitere Forschungsbedarfe & allgemeine Hinweise	160
7 Anhang	164
7.1 Fragebögen & Instruktionen.....	164
7.2 Szenarienmerkmalsanalysen	174
7.3 Situationsmerkmalsanalysen	195
7.4 Personenmerkmalsanalysen	210
7.5 Anzeigemerkmalsanalysen.....	216
8 Literatur	220

Zusammenfassung

Durch die fortwährende Zunahme des Luftverkehrsaufkommens wird das Flugsicherungssystem mit stetig wachsenden Sicherheits- und Effizienzanforderungen konfrontiert. Aufgrund ihrer Verantwortung für eine sichere, geordnete und rasche Luftverkehrsabwicklung sind vor allem die Fluglotsen von den steigenden Anforderungen betroffen. Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitungskapazität bilden hierbei eine der zentralen leistungsbestimmenden Größen. Kognitiven Modellen zufolge lässt sich die Effizienz, mit der sich menschliche Informationsverarbeitungsressourcen nutzen lassen, durch die Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle gezielt beeinflussen.

Aufgrund der räumlichen Natur der Fluglotsenaufgabe wurde in der vorliegenden Arbeit die Verwendung stereoskopischer 3D Anzeigen als zielführende Gestaltungsoption identifiziert, da sie wesentliche Grundlagen für eine ökologische und damit sowohl effektive als auch effiziente Situationswahrnehmung mit sich bringen. Gleichzeitig erzeugen sie Wahrnehmungsambiguitäten, die zu Unsicherheiten über räumliche Objektpositionen führen, und sich dadurch negativ auf die erforderlichen Informationsverarbeitungsressourcen auswirken können. Aus dem aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand zum Einsatz von 3D in der Flugsicherung wurde herausgearbeitet, dass für eine Bewertung deren Potentials nicht nur ihre Anzeigeeigenschaften, sondern auch die auszuführenden Aufgaben, die vorherrschende auditorische Belastungssituation, sowie die Expertise, Einstellung und Persönlichkeit der Zielgruppe einzubeziehen sind. Der Grund dafür liegt darin, dass auch diese Aspekte einen Einfluss auf die Evaluationsergebnisse ausüben und die Ergebnisinterpretation aufgrund von Wechselwirkungen beeinträchtigen können. Daher wurde zunächst die Kernaufgabe herausgearbeitet sowie das gegenwärtige Anzeigekonzept und die Belastungsstruktur beschrieben. Anschließend wurde die aktuelle Befundlage auf die o.g. Aspekte hin analysiert, und davon ausgehend die relevanten Forschungsbedarfe identifiziert. Aufbauend darauf wurden sowohl ein das Referenzsystem repräsentierendes und als Vergleichsgrundlage dienendes 2D Anzeigekonzept entworfen, als auch drei stereoskopische 3D Anzeigekonzepte entwickelt, die jeweils spezifische Stärken und Schwächen erwarten lassen. Als Evaluationsgrundlage wurden repräsentative Konfliktszenarien auf Basis zweier Luftfahrzeuge ausgearbeitet, die eine syste-

Zusammenfassung

matische Variation und experimentelle Kontrolle der relevanten Aufgabenmerkmale erlauben. Die auditive Belastungssituation zur Abbildung der Sprechfunkbelastung wurde durch eine parallel zur Szenarienbeobachtung auszuführende und standardisierte auditorische Zusatzaufgabe erzeugt. Die Einflüsse von Expertise und kognitiver Leistungsfähigkeit wurden durch die Rekrutierung von Fluglotsen, Piloten und Laien ermittelt. Von letzteren erhielt eine Teilgruppe ein eigens hierfür entwickeltes Konfliktbeurteilungstraining. Der Einsatz etablierter kognitiver Leistungstests und Verfahren zur Einstellungsmessung und Persönlichkeitsbeschreibung diente der Identifikation kognitiver Aspekte, die einen Einfluss auf die Leistung mit einem jeweiligen Anzeigekonzept ausüben, sowie der Analyse von Zusammenhängen zwischen Einstellung bzw. Persönlichkeit und der Leistung bei der Aufgabenausführung.

Die stereoskopischen 3D Anzeigen führen sowohl zu Effektivitäts- als auch zu Effizienzvorteilen. Mit ihnen wird eine höhere Konflikterkennungsrate bei einer gleichzeitig geringeren Anzahl an Falschalarmen erzielt. Ihr Vorteil gegenüber der 2D Referenzanzeige liegt vor allem in einer verbesserten Einschätzbarkeit vertikaler Bewegungsverläufe, der sich bei Vorliegen der auditorischen Zusatzbeanspruchung verstärkt. Zur Einschätzung horizontaler Bewegungsverläufe erweisen sie sich weniger gut geeignet als 2D. Das Vorhandensein von Konfliktbeurteilungsexpertise führt zu einer generellen Erhöhung der Entscheidungssicherheit. Außerdem resultiert die 2D Referenzanzeige in einer geringeren Einschätzung der körperlichen Beanspruchung. Darüber hinaus lassen Zusammenhangsanalysen den Schluss zu, dass 2D weniger hohe Anforderungen an die räumliche Orientierungs- und Aufmerksamkeitsleistung der Operateure stellt als die stereoskopischen 3D Anzeigen. Nichts desto trotz präferieren die Probanden, mit Ausnahme der Fluglotsen, stets eine der stereoskopischen 3D Varianten mit Lotdarstellung. Persönlichkeits- und Einstellungsmerkmale üben keinen Einfluss auf die Evaluationsergebnisse aus.

Die abschließende Diskussion erörtert den Beitrag dieser Arbeit zum Forschungs- und Entwicklungsstand, liefert eine Beurteilung der gewählten Vorgehensweise, und bewertet die Befunde hinsichtlich der wachsenden Sicherheits- und Effizienzanforderungen. Der Ausblick dient als Anregung für weiterführende Arbeiten.

Abstract

The continuous increase in air traffic leads to growing demands on safety and efficiency for the air traffic control system. Because of their responsibility for a safe, orderly and expeditious flow of air traffic, air traffic controllers are especially affected by this development. Capacity constraints in human information processing constitute central performance restricting factors. According to cognitive models, the efficiency with which the limited mental resources required for information processing are used can be systematically influenced by the layout of the men-machine-interface.

Due to the spatial quality of the air traffic controllers' task, in this work stereoscopic displays were identified as a promising approach to represent the air space. They possess substantial characteristics for an ecological and therewith effective as well as efficient perception of spatial settings. At the same time, they create projective ambiguities causing uncertainty regarding precise spatial positions. This phenomenon can cause negative effects on the required mental resources for information processing. Besides display features, further aspects were identified to be relevant for the evaluation of different display concepts: These are the tasks to be conducted, the auditory workload caused by the required perception of incoming radio messages, as well as the expertise, attitude and personality of the operators. They also impact on the results and hence can compromise the interpretation of the findings in consequence of interaction effects. Therefore, the core task of the air traffic controller was carved out at first, followed by a description of the current display concept and the auditory workload situation. Subsequently, the current state of research regarding 3D displays for air traffic control was analysed to identify relevant aspects for this work. Hereon, a 2D display was designed, representing the reference system, and serving as the baseline for the evaluation. Furthermore, three stereoscopic 3D display concepts were developed, each of it possessing specific benefits. As the basis for the evaluation, representative conflict scenarios always consisting two converging aircraft were elaborated, and allowed for a systematic variation and experimental control of all relevant task attributes. The cognitive load caused by an incoming radio message while observing the airspace was simulat-

Abstract

ed by a standardised auditory task that had to be conducted at the same time as the main task. The impacts of expertise and cognitive ability were determined by the recruitment of air traffic controllers, pilots, and laymen. The latter were split into two groups, from which one undertook specifically developed conflict judgment training. The application of established performance tests and questionnaires for attitude and personality assessment were used to identify cognitive aspects as well as attitude and personality attributes that are related to task performance.

The results show advantages of the stereoscopic displays regarding both effectivity and efficiency. They lead to a higher conflict detection rate as well as a smaller number of false alarms. Their advantages compared to the reference display particularly appear in situations, where the decisions can be taken on the base of altitude estimations, and is amplified when the additional auditory task has to be conducted at the same time. In contrast, the reference is advantageous when decisions are possible by assessing the lateral movements. Furthermore, certainty in conflict judgments generally is uprated with 2D. In addition, expertise supplementary boosts certainty in conflict judgments with 2D, but to a lesser extend with stereoscopic displays. Besides, subjects perceive physical demands to be lower with the reference. Correlation analysis show a lesser request for high abilities by 2D regarding spatial orientation and selective attention to achieve a high task performance compared to the stereoscopic displays. Nonetheless, and except for the air traffic controllers, who prefer the reference, subjects always rank one of the stereoscopic displays featuring drop lines as first choice. Attitude and personality attributes do not influence the results of this evaluation.

The concluding discussions illustrate the contribution of this thesis to the state of research and development. Furthermore, the structural and methodological approach is evaluated, and the potential of stereoscopic displays for the increasing demands on safety and efficiency is considered. Suggestions for future research intent to encourage further research in this field.

1 Einleitung

1.1 Beanspruchung von Fluglotsen & Leistung der Flugsicherung

Zahlreiche Untersuchungen weisen auf die hohen Anforderungen der Fluglotsentätigkeit hin. Diese entsteht vor allem durch die großen Informationsmengen, die zur Erfüllung der anstehenden Aufgaben häufig unter hohem Zeitdruck zu verarbeiten sind. Dabei gilt es stets ein Höchstmaß an Aufmerksamkeit bei der Aufgabenausführung anzustreben, weil bereits geringe Fehler verheerenden Konsequenzen nach sich ziehen können (vgl. Rantanen & Nunes, 2005).

Zur Unterstützung der Operateure, Vermeidung von Fehlern und besseren Nutzung und Erweiterung vorhandener Kapazitäten werden umfangreiche Maßnahmen sowohl auf personeller als auch technischer Seite durchgeführt. Aufwändige Verfahren dienen der Selektion von Personal, das über die individuellen Voraussetzungen verfügt, den hohen Anforderungen gerecht zu werden. Umfangreiche Trainingsmaßnahmen dienen der Vermittlung des erforderlichen Wissens und dessen Aufrechterhalt. Zusätzlich zielen strikte Regelungen für die Einhaltung von Ruhezeiten während und zwischen den Diensttagen sowie für die Durchführung regelmäßiger medizinischer Untersuchungen auf eine nachhaltige Sicherstellung der individuellen Leistungsfähigkeit ab (vgl. Hopkin, 1995). Durch gezielten Technikeinsatz wird eine bestmögliche Unterstützung der Operateure bei der Ausführung ihrer Aufgaben angestrebt. Assistenzsysteme wie automatische Konfliktwarnungstools und Planungsmittel helfen bei der effizienten Verteilung kognitiver Ressourcen, reduzieren Belastungsspitzen, und ermöglichen eine bestmögliche Nutzung vorhandener Kapazitäten (vgl. Mensen, 2004).

Der Anstieg des europäischen Luftverkehrsaufkommens von ca. 5000 Flügen pro Tag in der Mitte der 90er Jahre auf rund das Doppelte in 2010 (vgl. Eurocontrol, 2011), sowie der kontinuierliche Rückgang der weltweiten Unfälle und schweren Störungen mit in Deutschland zugelassenen Luftfahrzeugen von mehr als 500 in 1991 auf nahezu die Hälfte in 2008 (vgl. BFU, 2008) weist auf die Leistungsfähigkeit des Flugsicherungssystems und den Erfolg kontinuierlicher Verbesserungsmaßnahmen hin.

1.2 Problemstellung

Trotz des hohen Sicherheitsniveaus heutiger Flugsicherungssysteme sind weitere Verbesserungsmaßnahmen unabdingbar. Dies zeigt z.B. eines der folgenschwersten Flugunglücke im deutschen Luftraum über Owingen bei Überlingen am Bodensee, welches sich am ersten Juli 2002 ereignete und 71 Opfer forderte. Dem Flugunfalluntersuchungsbericht der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung zufolge (vgl. BFU, 2004) stellt mangelndes Situationsbewusstsein des zuständigen Lotsen die Hauptursache dieses Unglückes dar. Kluwe (2006) zufolge bildet mangelndes Situationsbewusstsein in mehr als drei Viertel aller Flugverkehrsunglücke eine der zentralen Ursachen. Als weiterer wichtiger Einflussfaktor wird die mentale Arbeitsbelastung der beteiligten Operateure, eines der Kernmerkmale der Fluglotsentätigkeit, als sicherheitskritischer Faktor hervorgehoben. Technische Ausfälle spielen dagegen eine vergleichsweise geringe Rolle (vgl. Rantanen & Nunes, 2005; Esgate & Groome, 2005).

Betrachtet man den erwarteten Zuwachs des Luftverkehrsaufkommens in den kommenden zwei Jahrzehnten um etwa das Doppelte, so wird deutlich, dass zu dessen Bewältigung nicht nur erhebliche Kapazitätssteigerungen erforderlich sind, sondern auch mit einer weiteren Erhöhung der mentalen Arbeitsbelastung und einer zunehmenden Wichtigkeit des Situationsbewusstseins zu rechnen ist (vgl. Eurocontrol, 2011). Eine Kapazitätssteigerung des Flugsicherungssystems bei gleichzeitiger Reduktion der mentalen Arbeitsbelastung und Erhöhung des Situationsbewusstseins scheint jedoch schwierig. Dies belegen Ansätze zur Reduzierung der Staffelvorgabe mit dem Ziel Kapazitäten zu erweitern, welche aufgrund mangelnden Einflusses auf das Staffungsverhalten der Lotsen erfolglos blieben. Die Operateure nutzen die bereits heute festgelegten Vorgaben zugunsten einer hohen Sicherheit, Begrenzung der mentalen Arbeitsbelastung und Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins häufig nicht aus (vgl. DFS, 2002). Auch der Einsatz von Assistenzsystemen wie z.B. zur Flugverkehrsplanung (vgl. Challen & Köhne, 2008, *Arrival- and Departuremanagement*), frühzeitigen Konflikterkennung (vgl. Wikipedia, 2011, *Short Term Conflict Alert*) oder Entscheidungsunterstützung durch systemseitige Verhaltensvorschläge (vgl. Sanches et al, 2010) stellt keinen befriedigenden Lösungsansatz zur Kapazitätserhöhung dar, da daraus häufig weitere Probleme resultieren, wie z.B. eine Abnahme des Situationsbewusstseins durch die Reduktion der Prozessnähe (vgl. Kaber & Endsley,

1997). Der Grund dafür liegt darin, dass z.B. nicht tolerierbare zeitliche Engpässe entstehen können, wenn schließlich doch aktive Eingriffe durch den Lotsen notwendig werden, da sich dieser zunächst das erforderliche Maß an Situationsverständnis erarbeiten muss (vgl. Bainbridge, 1983).

Im Rahmen neuer Entwicklungen ist von einer generellen Reduktion der physischen bei gleichzeitiger Zunahme der kognitiven Beanspruchung auszugehen (vgl. Sanches et al, 2010), weshalb der Berücksichtigung kognitiver Aspekte eine besonders hohe Relevanz zukommen muss. Dies führt zu dem weiteren Problem, dass bereits heute aufgrund der Anforderungshöhe trotz hoher Bewerberzahlen zu wenige geeignete Kandidaten für die Fluglotsenausbildung ausgewählt werden können (vgl. Gruber, 2008). Die Auswirkungen neuer Lösungsansätze auf die Anforderungshöhe und -art sind zumeist unbekannt und werden häufig erst nach deren Umsetzung analysiert (vgl. Hopkin, 1995). Einem Bericht zur Eignungsauswahl für die Fluglotsenausbildung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zufolge liegt die Selektionsquote bei weniger als 10 %, was vor allem auf die Anforderungen im Rahmen der kognitiven Leistungstests zurückzuführen ist (vgl. Göters, 2004). Es ist zu erwarten, dass sich dieses Problem bei einer Erhöhung der Anforderungen weiter verstärkt, und damit sowohl Sicherheitsrisiken als auch Kapazitätseinschränkungen mit sich bringt. Nicht zu vernachlässigen sind erhebliche negativen ökonomischen Konsequenzen, welche die Dringlichkeit von Verbesserungsmaßnahmen zusätzlich unterstreichen. Einem Bericht der BR-Online (2010) zufolge sind die durch die Flugsicherung verursachten Verspätungsminuten im ersten Halbjahr 2010 um 285 Prozent angestiegen. Dem Unternehmen Air-Berlin z.B. entstanden dadurch Kosten in Höhe von 21,6 Mio. Euro. Lufthansa, Deutschlands größte Fluggesellschaft, beklagte sich im selben Jahr über Verspätungen am Düsseldorfer Flughafen, die gemäß dem Unternehmen zu 70% auf fehlende Lotsen zurückzuführen seien. Die Deutsche Flugsicherung (DFS) investierte indessen Kosten in Höhe von mehr als einer Mio. Euro in intensive Werbekampagnen zur Bewerbergewinnung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich sowohl die Wichtigkeit eines hohen Situationsbewusstseins der Operateure als auch die mentale Arbeitsbelastung durch den zu erwartenden Anstieg des Luftverkehrsaufkommens weiter verstärken werden. Dies stellt sowohl eine Gefahr für die Flugsicherheit als auch eine Herausforderung im Rahmen der Erweiterung der verfügbaren Kapazi-

täten des Flugsicherungssystems dar. Der Mangel an geeigneten Kandidaten für die Fluglotsenausbildung steht der Schaffung weiterer Kapazitäten entgegen, weshalb etwaige Anforderungsänderungen durch die Umsetzung neuer Maßnahmen zu berücksichtigen sind. Der Handlungsbedarf wird durch diesen Kandidatenmangel und den vorherrschenden Kostendruck weiter verstärkt.

1.3 Fokus auf den Anflugkontrollbereich

Aufgrund der Einteilung des Luftraumes in verschiedene Kontrollbereiche existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeitspositionen, die alle von speziell für diese Bereiche ausgebildeten Fluglotsen besetzt werden. Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht der Anflugkontrollbereich, der als einer der zentralen Flaschenhälse innerhalb des Flugsicherungssystems angesehen wird. Durch das Zusammenlaufen aller an- und abgehender Flüge ist hier eine besonders hohe Luftverkehrsdichte vorzufinden (vgl. Abbildung 1-1), die entsprechend hohe Anforderungen an das Staffelvverhalten der Lotsen stellt, und damit ein Höchstmaß an Situationsbewusstsein erfordert. Durch die große Informationsdichte liegt hier zudem eine vergleichsweise hohe mentale Beanspruchung vor (vgl. Köper, 2001), weshalb die Betrachtung gerade dieses Kontrollbereiches äußerst interessant zur Problembearbeitung ist.

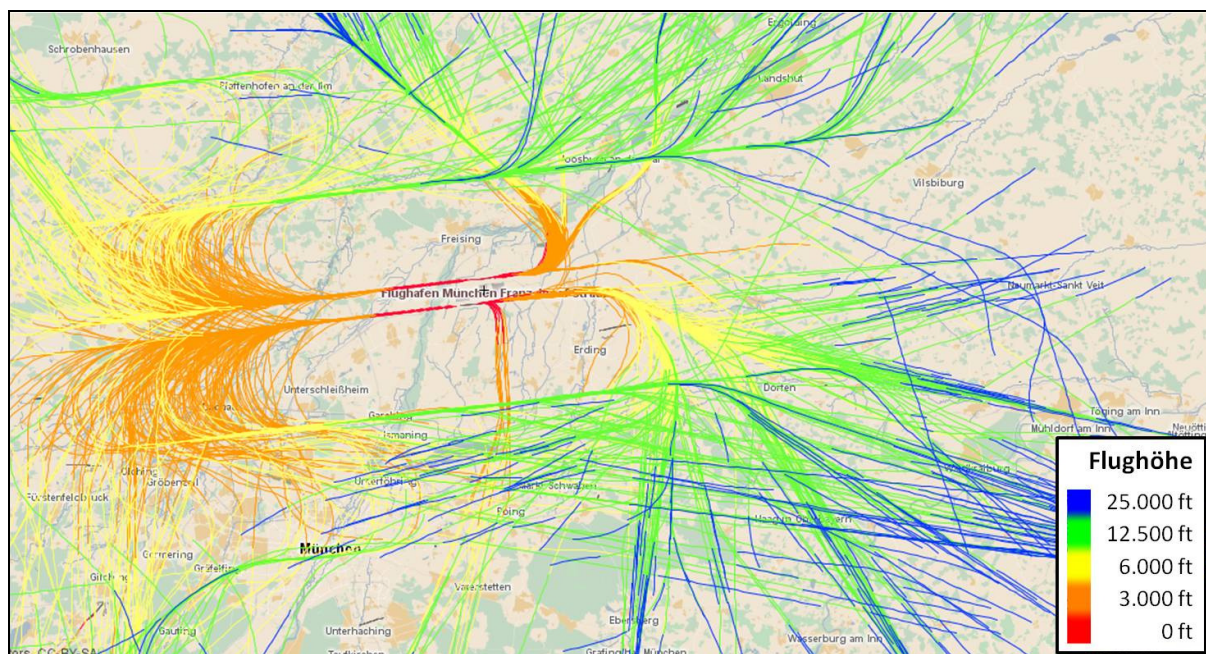


Abbildung 1-1: Flugspuren der ankommenden Flüge innerhalb eines Werktages am Beispiel des Münchner Flughafens am Freitag, den 27.07.2012 (DFS, 2012, Flugspuren)

2 Forschungs- & Entwicklungsstand

2.1 Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle

2.1.1 Grundlegendes zur Schnittstellengestaltung

Die Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle nimmt einen erheblichen Einfluss auf die Beziehung zwischen der Leistungsmöglichkeit des Benutzers und den Anforderungen durch das technische System (vgl. Bubb & Sträter, 2006). Bei der Schnittstellengestaltung kann auf diese Beziehung gezielt Einfluss genommen werden, denn „[...] je besser Mensch und System aufeinander abgestimmt sind, desto sicherer können die jeweiligen Aufgaben erfüllt werden“ (Kluwe, 2006). Dies ist vor allem für sehr beanspruchende Tätigkeiten von Bedeutung, da sich das Ausmaß der kognitiven Beanspruchung durch die geeignete Gestaltung der Arbeitsmittel reduzieren lässt (vgl. Bubb & Sträter, 2006). Eine Gestaltung aufgrund allgemein gültiger kognitiver Aspekte erlaubt „eine der Natur der menschlichen Informationsverarbeitung angemessene Gestaltung“ (ebd.), fördert eine optimale Nutzung kognitiver Ressourcen, und kann Belastungseffekte reduzieren. Belastungseffekte betreffen Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Entscheidungsverhalten, sowie Leistung des Gedächtnisses, und wirken sich in der Konsequenz auf das Situationsbewusstsein aus (vgl. Pekela & Hilburn, 1997; Kluwe, 2006). Für eine erfolgreiche Schnittstellengestaltung sind sowohl die auszuführenden Aufgaben, als auch die Situations- und Umgebungsfaktoren bei der Aufgabenausführung, sowie spezifische Eigenschaften der Schnittstellentechnologie und Zielgruppe zu berücksichtigen (vgl. Hamborg & Gediga, 2006; Liu, 1997; Williges et al, 1988). Durch die auszuführenden Aufgaben wird die Art, Menge und Komplexität benötigter Informationen und Handlungsschritte bestimmt (vgl. Bubb & Sträter, 2006). Die Eigenschaften der Schnittstellentechnologie beeinflussen die Möglichkeiten und Limitationen der Anpassung von Mensch und technischem System. Beispielsweise wirkt sich die verwendete Schnittstellentechnologie auf die Art der Informationsdarstellung sowie die möglichen Interaktionsformen mit dem technischen System aus (vgl. Bubb & Sträter, 2006). Situations- und Umgebungsfaktoren nehmen z.B. über die Menge und Komplexität auszuführender Parallelaufgaben Einfluss auf die Schnittstellengestaltung und das Ausmaß der mentalen Beanspruchung (vgl. Sexton et al, 1988). Die Ziel-

gruppeneigenschaften bestimmen die möglichen Anforderungen an Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Entscheidungsverhalten und Gedächtnis. Neben der Berücksichtigung der allgemeinen Leistungsmöglichkeiten des menschlichen kognitiven Systems müssen spezifische Zielgruppeneigenschaften, wie z.B. Vorwissen, Präferenzen und kognitive Fähigkeiten berücksichtigt werden (vgl. Liu, 1997; Wickens et al, 2004).

Die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle stellt damit einen vielversprechenden Ansatz zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Flugsicherungssystems dar und bietet die Gelegenheit, die mentale Arbeitsbelastung zu reduzieren und das Situationsbewusstsein zu erhöhen. Dabei ist von einer technikorientierten Herangehensweise abzugehen und vielmehr eine umfassende Berücksichtigung von Aufgaben, eingesetzter Schnittstellentechnologie, Situations- und Umgebungsfaktoren, sowie Zielgruppeneigenschaften erforderlich (vgl. Zimmer, 2003; Hamborg & Gediga, 2006). All diese Aspekte werden im Folgenden aufgegriffen.

2.1.2 Kernaufgaben eines Fluglotsen

Da eine erschöpfende Aufgabenbeschreibung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde und nicht notwendig ist, um ein Verständnis für die vorherrschenden Anforderungen zu schaffen und den Zweck der Konzeptentwicklung und -bewertung zu vermitteln, liegt der Fokus ausschließlich auf der Kernaufgabe. Der internationalen Zivilluftfahrtorganisation zufolge (ICAO, engl. *International Civil Aviation Organization*) besteht diese darin, für eine sichere, geordnete und rasche Luftverkehrsabwicklung zu sorgen (vgl. ICAO, 2001). Im Zentrum steht dabei die Sicherstellung und Aufrechterhaltung der vorgeschriebenen lateralen und vertikalen Separationsabstände aller sich im Zuständigkeitsbereich des Lotsen befindlichen Luftfahrzeuge (vgl. ebd.). Dies geschieht im Wesentlichen durch die Vermeidung und ggf. Lösung potentieller Konfliktsituationen, welche durch Unterschreitungen der vorgeschriebenen Separationsminima entstehen können (vgl. Mensen, 2004; ICAO, 2001). Die häufig anzutreffende Selbstauskunft von Fluglotsen, sie seien für die Separation von Luftfahrzeugen zuständig (vgl. Averty, 2005), verdeutlicht deren Stellenwert.

2.1.3 Gegenwärtiges Arbeitsplatzkonzept

Eines der wichtigsten Arbeitsmittel des Anflugkontrolllotsen ist die Luftlagedarstellung, die für eine Vielzahl der anstehenden Aufgaben die zentrale Informationsquelle darstellt, und sowohl Primär- als auch Sekundärradardaten, sowie im System hinterlegte Flugplandaten darbietet. Daneben existieren zahlreiche weitere Arbeitsmittel, wie z.B. Sprechfunk, Telefon, unterstützende Informationsanzeigen und Hilfssysteme, sowie sog. Kontrollstreifen, die v.a. Flugplandaten beinhalten und zu Dokumentationszwecken eingesetzt werden. Die Luftlagedarstellung zeigt die Positionen der Luftfahrzeuge, die sich im Zuständigkeitsbereich des Lotsen bzw. nahe dessen befinden, sowie zahlreiche weitere Informationen, die für die Aufgabenbearbeitung benötigt werden. Dabei handelt es sich sowohl um Informationen die einzelne Luftfahrzeuge als auch die Luftraumstruktur und Wettersituation betreffen. Die aktuelle Darstellung beinhaltet ein zweidimensionales Anzeigekonzept, welches eine Draufsicht auf das Luftraumgeschehen liefert. Die Positionen der einzelnen Luftfahrzeuge werden durch entsprechende Symbole dargeboten, während zusätzliche Informationen zu einem jeden Luftfahrzeug innerhalb eines sog. Labels dargestellt werden. Diese Labels werden in räumlicher Nähe zu den entsprechenden Luftfahrzeugsymbolen dargeboten und deren Zugehörigkeit durch Verbindungslinien gekennzeichnet. Bei den Informationen, die innerhalb eines Labels angezeigt werden, handelt es sich um das jeweilige Rufzeichen, die aktuelle Flughöhe und Geschwindigkeit über der Grund, sowie eine Angabe, ob das Luftfahrzeug gerade steigt oder sinkt, was durch eine korrespondierende Pfeildarstellung indiziert wird. Darüber hinaus verfügt der Operateur über die Möglichkeit sich eine Vielzahl weiterer Informationen darstellen zu lassen, wie z.B. die aktuelle Steig- und Sinkrate, Angaben zur Transponderausstattung, u.v.m. Am Luftfahrzeugsymbol selbst wird häufig eine Flugrichtungsanzeige dargeboten, deren Länge linear mit der Luftfahrzeuggeschwindigkeit korrespondiert, sowie Vergangenheitssymbole, die eine zeitlich begrenzte Anzeige der zurückgelegten Strecke bieten. Abbildung 2-1 (Seite 8, linkes Bild) zeigt einen aktuellen Arbeitsplatz der Anflugkontrolle mit alle wichtigen Arbeitsmitteln und Zusatzbildschirmen. Das rechte Bild zeigt einen exemplarischen Ausschnitt einer Radardarstellung mit den wichtigsten Informationen, wie einem Flugobjekt mit Vergangenheitssymbolen, seine Flugrichtung, Höhe und Geschwindigkeit, das Label mit Rufzeichen, sowie einen Steig- bzw. Sinkindikator.

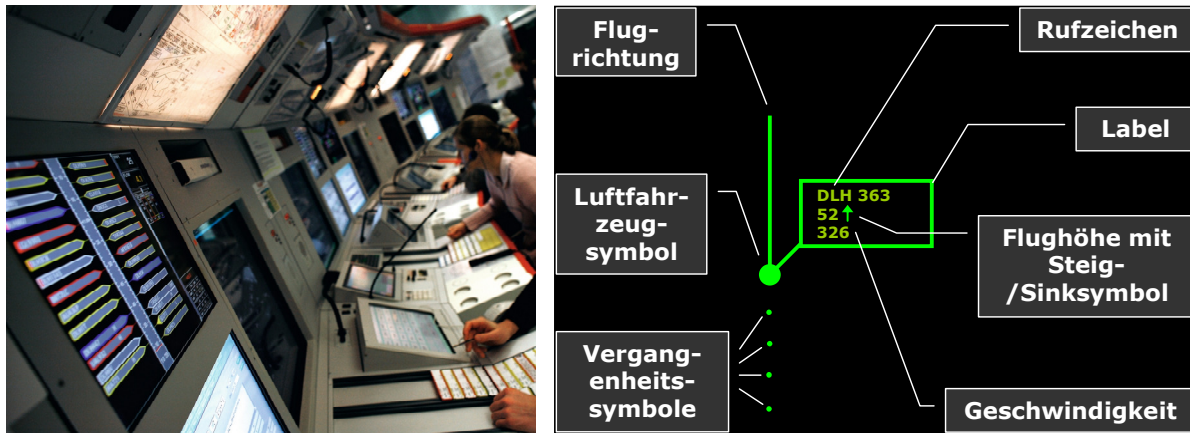


Abbildung 2-1: Anflugkontrollarbeitsplatz (links, Netzticker, 2011) und exemplarische Luftfahrzeugdarbietung auf dem Radarschirm (rechts)

2.1.4 Situations- & Umgebungsfaktoren

Die Anflugkontrollaufgabe spielt sich nicht isoliert im eigenen Kontrollbereich und unter ausschließlicher Berücksichtigung der sich dort befindlichen Luftfahrzeuge ab, sondern erfolgt immer in enger Kooperation mit den benachbarten Bereichen. Dies erfordert den ständigen Informationsaustausch mit den dortigen Lotsen und Luftfahrzeugführern, um z.B. den Eintritt in den eigenen Zuständigkeitsbereich zur optimalen Nutzung vorhandener Kapazitäten rechtzeitig vorbereiten und koordinieren zu können (vgl. Mensen, 2004; Hopkin, 1995). Diese Kommunikation findet vorwiegend verbal mittels Sprechfunk im Falle des Informationsaustausches zwischen Lotse und Pilot, sowie unmittelbar zwischen den Lotsen statt, sofern diese räumliche nahe Sitzpositionen einnehmen (siehe Abbildung 2-1, linkes Bild). Dies ist bei direkt angrenzenden Zuständigkeitsbereichen häufig der Fall. Andernfalls kommunizieren sie mittels Telefon. Des Weiteren wird häufig im Team gearbeitet, so dass sich meist zwei Lotsen an einem Arbeitsplatz aufhalten und sich gegenseitig bei der Aufgabenausführung unterstützen. Darüber hinaus besteht prinzipiell immer die Möglichkeit, sich durch weitere Kollegen unterstützen zu lassen, falls die Arbeitsbelastung zu groß wird (BFU, 2004).

2.1.5 Anforderungen & Anforderungsbewältigung

Wie bereits in der Problemstellung verdeutlicht wurde, handelt es sich beim Beruf des Anflugkontrolllotsen um eine äußerst sicherheitskritische und beanspruchende Tätigkeit, die mit großer Sorgfältigkeit ausgeführt werden muss, und häufig

die Verarbeitung großer Informationsmengen unter hohem Zeitdruck erfordert (vgl. Rantanen, 2004). Welche Anforderungen dies an die Operateure stellt und wie sie damit umgehen ist steht im Mittelpunkt dieses Abschnittes.

Aus einer aufgabenorientierten Sicht besteht die Anforderung vor allem in der Gewährleistung einer sicheren, geordneten und raschen Luftverkehrsabwicklung, was durch die Aufnahme und Verarbeitung von Informationen geschieht, die auf dem Radarschirm und den Flugstreifen abgelesen und dem Sprechfunk entnommen werden (vgl. Mensen, 2004; Köper, 2001). Typische Informationen sind Flughöhen, Geschwindigkeiten, Flugrichtungen, Rufzeichen, Luftfahrzeugtyp- und Wetterinformationen, sowie Informationen zur aktuellen Luftverkehrs- und zu unmittelbaren und potentiellen Konfliktsituationen (vgl. Stein & Garland, 1993). Die dynamische Natur und die Komplexität des Luftverkehrsgeschehens verhindern dabei eine vollständige Planbarkeit der Verkehrsbewegungen. Daher sind eine permanente Überwachung und regelmäßige Eingriffe durch den zuständigen Lotsen erforderlich, um z.B. Änderungen von Flughöhen, -geschwindigkeiten und -richtungen der sich in seinem Zuständigkeitsbereich befindlichen Luftfahrzeuge anzuweisen (vgl. Rantanen & Nunes, 2005).

Aus einer psychologischen Sicht ist die Anforderung vorwiegend kognitiver Natur und betrifft hauptsächlich das Arbeitsgedächtnis (vgl. Esgate & Groome, 2005; Zimmermann, 2001; Wickens, et al, 1997), da es die zentrale Instanz für die Ausführung kognitiver Prozesse darstellt, wie z.B. die Integration von neuer und bereits vorhandener Information, sowie die Lenkung und Verteilung von Aufmerksamkeitsressourcen (vgl. Wickens et al, 2004). Im Rahmen ausführlicher kognitiver Aufgabenanalysen wurden sieben prozessartige kognitive Handlungsschritte identifiziert, die von den Lotsen kontinuierlich durchzuführen sind, um stets über ein adäquates Bild der aktuellen Luftverkehrssituation zu verfügen (vgl. Seamster et al, 1997). Dabei handelt es sich um die Situationsanalyse, Ereigniswahrnehmung und deren Nachverfolgung und Beurteilung, Priorisierung von Beobachtungsaufgaben und Handlungen, Konfliktlösung, Staffellung von Luftfahrzeugen, Beanspruchungsmanagement und Aufgabenorganisation. Die Informationen dazu sind der Luftlagedarstellung und den Flugstreifen sowie der verbalen Kommunikation mit Luftfahrzeugführern und anderen Flugsicherungsinstanzen zu entnehmen, zum Zwecke der taktischen und strategischen Planung im Arbeitsgedächtnis zu behalten und zu manipulieren, während zeitgleich taktische

und strategische Überlegungen und Entscheidungen gefordert sind (vgl. Esgate & Groome, 2005). Der häufig vorherrschende Zeitdruck und die Notwendigkeit, die vorhandenen zeitlichen und mentalen Ressourcen auf mehrere Aufgaben zu verteilen macht es erforderlich, jede dieser Aufgaben möglichst effektiv und effizient auszuführen, um Verzögerungen in der Prozesskette zu vermeiden (vgl. Loft et al, 2009). Eine zentrale Quelle von Verzögerungen bildet die Unsicherheit bei der Einschätzung der sich dynamisch entwickelnden und daher schwierig einzuschätzenden Luftfahrzeugseparationen (vgl. Bisseret, 1981). Bisseret (ebd.) stellt ein Prozessmodell vor, welches das Verhalten von Fluglotsen bei unterschiedlichen Ausprägungen der subjektiven Sicherheit über die Separation von Luftfahrzeugen beschreibt, siehe Abbildung 2-2.

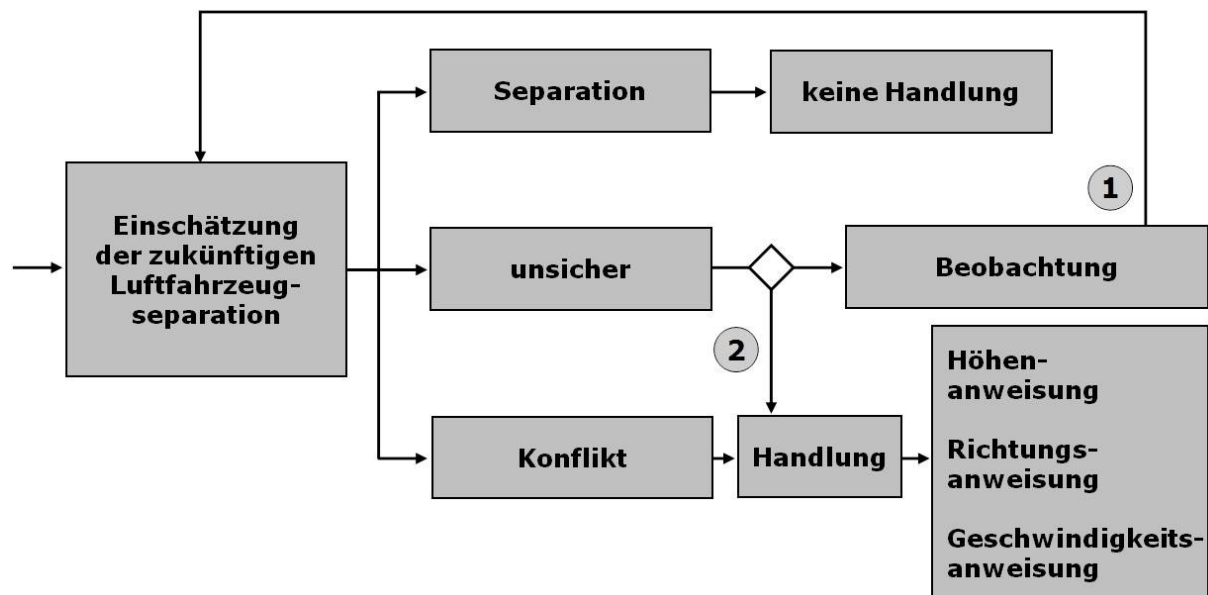


Abbildung 2-2: Einfluss der subjektiven Entscheidungssicherheit auf das Verhalten von Fluglotsen bei der Einschätzung der zukünftigen Luftfahrzeugseparation (vgl. Bisseret, 1981)

Demzufolge bestehen zwei Optionen bei Vorliegen von Unsicherheit, nämlich abzuwarten, und den weiteren Entwicklungsverlauf zu beobachten, um zu einem späteren Zeitpunkt eine sichere Entscheidung treffen zu können (1), sowie durch Anweisung von Höhen-, Richtungs- oder Geschwindigkeitsänderungen unmittelbar eingzugreifen, und dadurch eine sofortige Unsicherheitsreduktion herbeizuführen (2). Die Auswahl einer dieser Optionen erfordert eine Abwägung von Kosten und Nutzen und kann erhebliche Konsequenzen nach sich ziehen. Die Beobachtung des Entwicklungsverlaufes ohne einen sofortigen Eingriff verspricht Effizienzvorteile in Form der Vermeidung unnötiger Manöver und geringerer

Sprechfunkauslastung. Dem gegenüber steht die Risikozunahme, die durch die kontinuierliche Abnahme der verfügbaren Zeit zur Anweisung notwendiger Ausweichmanöver im Falle einer tatsächlichen Konfliktsituation entsteht. Außerdem sind die erforderlichen zeitlichen und mentalen Ressourcen in den Abwägungsprozess mit einzubeziehen, die zur Weiterverfolgung des Entwicklungsverlaufes benötigt werden, und daher nicht für andere Aufgaben verfügbar sind, was im schlimmsten Fall zum Übersehen weiterer kritischer Ereignisse führt. Der Vorteil eines sofortigen Eingriffes führt hingegen zu einer unmittelbaren Unsicherheitsreduktion und macht Ressourcen für weitere Aufgaben frei, steht jedoch einer effizienten Luftverkehrsführung entgegen (vgl. Loft et al, 2003).

Zur Bewertung der Luftfahrzeugseparation setzen Lotsen kognitive Strategien ein, um sowohl eine effektive und effiziente Aufgabenausführung gewährleisten zu können, als auch die mentale Beanspruchung zu reduzieren und zeitliche Ressourcen zu gewinnen (vgl. D'Arci & Rocco, 2001). Diese Strategien beziehen sich vorwiegend auf die Verarbeitung von Höhen- und Geschwindigkeitsinformationen sowie der Flugrichtung der Luftfahrzeuge. Die Vorgehensweise bei der Verarbeitung dieser Informationen geht hierarchisch von staten. Nunes & Mogford (2003) liefern eine detaillierte Beschreibung der kognitiven Prozessschritte. Ihnen zufolge wird zur Situationsanalyse und Unterstützung der Wahrnehmung relevanter Ereignisse an erster Stelle ein Höhenvergleich der Luftfahrzeuge vorgenommen. Sind alle Objekte höhenmäßig sicher separiert, liefert dieser erste Schritt den Befund, dass zum aktuellen Zeitpunkt keine relevanten Ereignisse im Sinne von Konfliktsituationen vorliegen, und erneut mit der Überprüfung aller Objekte im Zuständigkeitsbereich begonnen werden kann. Dieser Schritt kann für gewöhnlich ohne großen Ressourcen- und Zeitaufwand durchgeführt werden. Der Analyseprozess wird vor allem dann ressourcenaufwändig, wenn vertikale Bewegungen, gleiche Flughöhen, oder beide Fälle vorliegen. Die Situationsanalyse erfordert dann die Prädiktion der Flugbahnen (Trajektorien) durch mentale Extrapolationen, welche sich in konvergierende und divergierende Verläufe einteilen lassen. Letztere weisen darauf hin, dass zwischen zwei Luftfahrzeugen kein Konflikt auftreten kann, da sich diese einander nicht annähern. Luftraumstrukturen wie z.B. festgelegte Luftstraßen können dabei als Hilfestellung zur Vorhersage der Bewegungsverläufe herangezogen werden. Konvergierende Trajektorien hingegen müssen in einem weiteren Schritt näher betrachtet werden. Unzureichendes Situa-

onsbewusstsein wird zumeist mit Fehlern bei der in diesem Schritt erforderlichen mentalen Extrapolation zur Bestimmung etwaiger Trajektorienschnittpunkte assoziiert. Dies lässt sich damit begründen, dass die Prädiktionsaufgabe sowohl einem aufwändigen Distanz- als auch Zeitvergleich der beteiligten Luftfahrzeuge bedarf. Angenommen, zwei Luftfahrzeuge weisen einen Trajektorienschnittpunkt auf, so muss bestimmt werden, ob sie diesen auch zeitgleich erreichen. Dies fällt dann relativ leicht, wenn sich beide Luftfahrzeuge gleich schnell bewegen, da der alleinige Vergleich der Distanzen bis zu diesem Schnittpunkt ausreicht. Bewegen sie sich hingegen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, ist der Einbezug der Zeit erforderlich, die jedes der beiden Luftfahrzeuge bis zum Trajektorienschnittpunkt benötigt. Hinzu kommt, dass zusätzlich etwaige Höhenänderungen einbezogen werden müssen, da sich die Trajektorien zweier Luftfahrzeuge zwar in der horizontalen Ebene zeitgleich schneiden können, was auf den ersten Blick wie ein drohender Konflikt wirkt. Unterschiedliche Flughöhen der beteiligten Objekte an diesem Schnittpunkt können jedoch dennoch zu einer sicheren Separation führen. Diese schrittweise und hierarchische Vorgehensweise ermöglicht es dem Lotsen v.a. bei einfachen Konstellationen, die nur wenige Analyseschritte erfordern, relativ schnell und ressourcenschonend zu überprüfen, ob zwei Luftfahrzeuge sicher separiert sind (Wahrnehmung relevanter Ereignisse) und dies auch bleiben (Nachverfolgung relevanter Ereignisse), oder ob korrektive Maßnahmen gefordert sind (Priorisierung von Beobachtungsaufgaben und Handlungen bzw. Konfliktlösung und Staffelung von Luftfahrzeugen). Erst bei komplexeren Konstellationen werden aufwändige mentale Prozesse erforderlich (vgl. Nunes & Mogford, 2003), die sich negativ auf das Ausmaß der Urteilsleistung auswirken (vgl. Loft et al, 2009). So tragen unterschiedliche im Gegensatz zu gleichen Luftfahrzeuggeschwindigkeiten zu einer Zunahme der Unsicherheit bei. Genauso auch das Vorliegen vertikaler Luftfahrzeugbewegungen. Bereits die Höhenänderung eines der beiden Objekte führt zu einer erheblichen Steigerung der Aufgabenschwierigkeit. Das Vorliegen vertikaler Bewegungen beider Luftfahrzeuge erschwert eine Einschätzung abermals. Eine Zunahme der Unsicherheit ist auch bei rechtwinkligen Konvergenzwinkelkonstellationen zwischen den Luftfahrzeugtrajektorien zu verzeichnen. Annäherungswinkel von 90° führen also zu einer größeren Unsicherheit als Winkel nahe 0° oder 180° (vgl. Averty et al, 2009). D'Arcy & Rocco (2001) weisen darauf hin, dass der effiziente Einsatz von Strategien mit der Expertise der

Operateure zusammenhängt und erfahrene Lotsen über ein umfangreicheres Strategienrepertoire verfügen als unerfahrenere Kollegen. Dadurch sind sie in der Lage, in einer Vielzahl von Situationen eine geeignete Strategie auszuwählen, und dadurch ihre Beanspruchung zu reduzieren sowie ein adäquates Situationsbewusstsein zu bewahren, und zwar auch dann, wenn ein hohes Maß an zeitlicher und kognitiver Beanspruchung vorherrscht. Tavanti et al (2003) stellten z.B. fest, dass den vertikalen Luftfahrzeugbewegungen keine nennenswerte Beachtung geschenkt werden, wenn die horizontale Distanz mehr als 12 NM zum Trajektorienschnittpunkt beträgt, bei kleineren Entfernungen jedoch stets mit einbezogen werden. Die situationsabhängige und effiziente Auswahl einer geeigneten Beurteilungsstrategie basiert dabei auf der Verfügbarkeit von Situationsmustern, welche die Experten im Laufe ihrer beruflichen Tätigkeit erwerben und die, wie in vielen anderen Domänen auch, eines der Hauptmerkmale von Expertise darstellen (vgl. Kolrep & Kindsmüller, 1995). Aufgrund ihrer arbeitsgedächtnisentlastenden Funktion kann die Verfügbarkeit von Situationsmustern die Entscheidungsfindung in erheblichem Ausmaß erleichtern (vgl. Loft et al, 2009), und diese sind vor allem dann hilfreich, wenn wenig zeitliche oder kognitive Ressourcen zur Verfügung stehen (vgl. Stankovic et al, 2008). Bisseret (1981) weist jedoch auch auf Effizienznachteile des Strategieeinsatzes hin, die v.a. unter erhöhter Beanspruchung zu beobachten sind, und zu Reduktionen der Diskriminationsleistung führen können (vgl. D'Arcy & Rocco, 2001). Diese Leistungsabnahmen sind durch die aufgrund der limitierten Verfügbarkeit kognitiver und zeitlicher Ressourcen notwendige Vereinfachungen des Informationsverarbeitungsprozesses begründet, die der Vermeidung von Verzögerungen in der Abarbeitung der kognitiven Prozesskette dienen (vgl. Nunes & Mogford, 2003). Bei diesen Vereinfachungen handelt es sich um den Einsatz kategorischer Entscheidungen über zukünftige Separationen zweier Luftfahrzeuge. Sie bieten erfahrenen Lotsen eine schnelle Entscheidungsgrundlage für oder gegen einen korrektiven Eingriff, wohingegen Berufsanfänger häufiger versuchen an Urteilsleistung zu gewinnen, indem sie den Mehraufwand mentaler Ressourcen in Kauf nehmen, und auf Basis der verfügbaren Informationen Berechnungen zur Separation am erwarteten Trajektorienschnittpunkt anstellen. Der Einsatz geeigneter Strategien versetzt die Experten in die Lage, auch größere Beanspruchungsspitzen sicher bewältigen zu können, wenngleich dabei Einbußen hinsichtlich der effizienten Luftfahrzeugführ-

ung in Kauf zu nehmen sind (vgl. Loft et al, 2009). Bisseret (1981) zeigt in einer Studie, dass Experten weniger als 1% aller Konfliktfälle fehlerhaft einschätzen, gleichzeitig aber lediglich 30% aller Eingriffe erforderlich sind (vgl. Loft et al, 2009). Durch diese, mit Bezug auf die Abgabe positiver Konflikturteile, als liberal zu bezeichnende Antworttendenz, sind die Experten in der Lage, auf effektive Art und Weise eine sehr hohe Anzahl richtiger Entscheidungen zu treffen, was den Aufbau und Aufrechterhalt eines hohen Maßes an Situationsbewusstseins unterstützt. Gleichzeitig führt dieses Verhalten aber auch zu einer relativ hohen Anzahl korrektiver Eingriffe, die nicht zwingend notwendig sind (sog. Falschalarme), und damit Effizienzeinbußen bei der Luftverkehrsführung zur Folge haben. Studien zeigen, dass Experten bereits vertikale Separationsabstände von 4.000 ft, also ein Vielfaches des vorgeschriebenen Separationsminimums (meist 1.000 ft) zum Anlass nehmen, präventiv einzugreifen. Relativ zum vorgeschriebenen Separationsminimum führen horizontale Distanzen hingegen erst bei viel kleineren Unterschieden zu Eingriff durch den Lotsen (vgl. Loft et al, 2009). Effizienzeinbußen treten also vor allem durch Unsicherheiten bezüglich vertikaler Separationen auf. Das Entscheidungsverhalten von Berufsanfängern fällt meist konservativer aus. Sie erzielen oft eine höhere Präzision und damit bessere Diskriminationsleistung zwischen Konflikt- und Separationsfall als langjährige Experten, benötigen dafür aber eine höhere Zeitdauer und einen größeren mentalen Ressourceneinsatz, was dem Aufbau und Aufrechterhalt eines umfassenden Situationsbewusstseins entgegenwirkt (vgl. Kirwan, 2006).

2.2 Weiterentwicklungen & neue Konzepte

2.2.1 Weiterentwicklungen bisheriger Anzeigen

Maßnahmen zur Verbesserung des Situationsbewusstseins und Reduktion der mentalen Beanspruchung sind sehr vielfältig und besitzen eine jahrzehntelange Geschichte (vgl. Hopkin, 1995). Aufgrund ihrer zentralen Stellung im Rahmen der Flugsicherungsaufgaben erfährt speziell die Konflikterkennung eine hohe Aufmerksamkeit, und wird häufig als repräsentative Aufgabe zur Bewertung entsprechender Maßnahmen herangezogen (vgl. Averty, 2008). Ein Großteil dieser Maßnahmen lässt sich unter dem Aspekt der Automatisierung subsumieren. Sie reichen von Assistenzsystemen mit geringem Automatisierungsgrad, wie z.B. der Aufmerksamkeitslenkung des Operators auf kritische Ereignisse durch die Gabe

gezielter Warnmeldungen, bis hin zu hoch automatisierten Systemen die dem Lotsen zusätzlich zur Warnung einen entsprechenden Lösungsvorschlag unterbreiten. Im Kern dieser Anstrengungen steht zumeist die Unterstützung des Lotsen bei der Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen (vgl. Wickens et al, 1997). In den 1960er Jahren wurde in den USA das sog. *Automated Radar Terminal System* (ARTS) eingeführt. Es konnte bereits das Luftraumgeschehen auf konfliktträchtige Situationen hin überprüfen und entstehende Konflikte vorhersagen, wodurch es eine erhebliche Entlastung für die Lotsen darstellte. Obgleich es eine große Anzahl von Falschalarmen lieferte, fand es einen insgesamt großen Zuspruch von den Operateuren. In den 1980er Jahren folgte das *Conflict Alert System* (CA) welches auf eine breitere Datenbasis zurückgreift, weniger Falschalarme liefert als das ältere ARTS System, und bis heute weltweit zur Anwendung kommt. In den 1990er Jahren folgten weitere Verbesserungen, wie z.B. das *Center-TRACON Automation System* (CTAS), das neben Warnmeldungen auch Handlungsvorschläge ausgibt. Aktuelle Systeme beziehen darüber hinaus auch Flugplandaten in die Konfliktberechnung ein und sind so in der Lage, dem Lotsen eine noch intelligentere Unterstützung zu bieten (vgl. Piaelli et al, 2009).

Die fortschreitende Entwicklung der Automatisierung stellt jedoch nicht nur eine Entlastung für die Operateure dar, sondern birgt auch erhebliche Risiken (Sarter & Woods, 1995b; Wiener, 1988). So lässt sich feststellen, dass Operateure die von vergleichsweise zuverlässigen Assistenzsystemen unterstützt werden dazu neigen, sich allzu sehr auf das technische System zu verlassen (vgl. Parasuraman & Riley, 1997). Dadurch kann sich der Zweck des Assistenzsystems, nämlich das Situationsbewusstsein des Operateurs zu verbessern (vgl. Sarter & Woods, 1992; 1994a, 1994b) und seine mentale Beanspruchung zu reduzieren (vgl. Wiener, 1988) schlimmstenfalls ins Gegenteil verkehren. Dies kann z.B. dazu führen, dass ein aufgrund eines Systemfehlers notwendiger manueller Eingriff durch den Operateur aufgrund mangelnden Situationsbewusstseins nicht adäquat ausgeführt werden kann, und die Erarbeitung des erforderlichen Verständnisses der aktuellen Lage in einer erheblichen zeitlichen wie auch mentalen Überbeanspruchung mündet (vgl. Kirlik, 1993). Der langfristige Einsatz von Assistenzsystemen kann zudem zum Verlust benötigter Fertigkeiten führen, die für manuelle Eingriffe in das Luftraumgeschehen erforderlich sind (vgl. Hopkin, 1994; Wiener, 1988). Des Weiteren können Automatisierungsmaßnahmen den Einsatz inadä-

quater Heuristiken und in Folge das Auftreten von Fehlentscheidungen fördern, z.B. indem Basisraten vergleichsweise unwahrscheinlicher Ereignisse überschätzt, oder tatsächlich vorliegende Ereignisse aufgrund fehlender systemseitigen Informationsdarbietung übersehen werden (vgl. Mosier & Skitka, 1996). Auch kann kein Assistenzsystem sicherstellen, dass der Operateur alle Informationen wahrnimmt und versteht, die vom System ausgegeben werden (vgl. Parasuraman & Riley, 1997; Wiener, 1988). Nicht zuletzt führt das Auftreten häufig unvermeidbarer Falschalarme oft dazu, dass die Operateure dem Assistenzsystem misstrauen und es ignorieren oder ausschalten (vgl. Vernaleken, 2011; Lee & Moray, 1992). Wickens et al (2009) fanden in einer Studie Fehlklassifikationen von 47% bei derzeit operationell eingesetzten Konfliktwarnsystemen. Die aufgrund multifaktorieller und sich wechselseitig und dynamisch verändernden, nicht genau erfass- und vorhersehbaren Situationsparameter führen dazu, dass eine vollständige Automatisierung des Flugsicherungssystems zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich ist, und regelmäßige Eingriffe durch den Lotsen nach wie vor unabdingbar sind (vgl. Parasuraman & Rovira, 2010). Benutzerzentrierte Automatisierungsansätze weisen auf diese Probleme hin und heben hervor, dass der Operateur trotz der Zuhilfenahme von Assistenzsystemen jederzeit aktiv in das Prozessgeschehen eingebunden sein muss, um stets über das notwendige Maß an Handlungsfähigkeit zu verfügen, und Eingriffe zu jedem Zeitpunkt schnell und sicher durchführen zu können (vgl. Kaber & Endsley, 2002; Wickens et al, 1997).

2.2.2 Dreidimensionale Anzeigen für Flugsicherungszwecke

Theoretische Vorteile dreidimensionaler Anzeigen

Die Ausführungen des vorangegangenen Kapitels zeigen, dass durch die Zuhilfenahme von Assistenzsystemen eine erleichterte Erkennung drohender Konflikte erzielt wird. Die Verantwortung für die Entscheidung über zukünftige Luftfahrzeugseparationen sowie die damit häufig verbundene Unsicherheit verbleibt jedoch bei den Operateuren. Anstrengungen zur Entwicklung dreidimensionaler Anzeigesysteme zielen meist auf die Unterstützung der Operateure durch Reduktion dieser Unsicherheit ab, und haben häufig die Hoffnung gemein, ein höheres Maß an Situationsbewusstsein bei geringerem mentalen Ressourcenaufwand zu erlangen, indem sie die Positionserkennung und Einschätzung der Positionsentwicklung erleichtern. Bereits in den neunziger Jahren wurden Untersuchungen

zur Ermittlung eines etwaigen Vorteiles dreidimensionaler Anzeigen für Flugsicherungszwecke durchgeführt (vgl. Wickens et al, 1989; Wickens, 1995; Azuma et al, 1996 und 1999; Bourgois et al, 2005). Dieser wird v.a. dadurch erwartet, dass die integrierte grafische Darstellung von lateraler und vertikaler Position innerhalb einer dreidimensionalen Anzeige, im Vergleich zur alphanumerischen Höhenangabe auf dem heutigen Radarbildschirm, zu einer Verbesserung der Situationswahrnehmung bei gleichzeitiger Reduktion der mentalen Beanspruchung führt. Begründet wird diese Annahme zum einen durch die Integration von lateraler und vertikaler Positionsinformation innerhalb einer analogen Darstellung, die dadurch eine effektivere und effizientere Einschätzung der relativen Objektpositionen verspricht, und zum anderen durch den Wegfall der Erfordernis die numerischen Höhenangaben ablesen und memorieren zu müssen, um diese anschließend unter kognitivem Ressourceneinsatz zu einem adäquaten Bild der Luftraumsituation zu integrieren (Ellis et al, 1987). Darüber hinaus sind kognitive Interferenzen zwischen visuellen und auditiven Ressourcen zu erwarten, die durch die Notwendigkeit entstehen, parallel zur Wahrnehmung visuell-verbaler Höheninformationen auf dem Radarschirm, auditiv-verbale Informationen aus dem Sprechfunk zu beachten (vgl. Wickens, 2004). Eine analoge Höhenangabe anstelle einer numerischen verspricht durch die Änderung der visuell-verbale in eine visuell-grafische Höheninformation eine interferenzarme Informationsverarbeitung von Positionsinformation und Sprechfunkinhalt.

Arbeitsdefinition von "dreidimensional" und allgemeine Grundlagen

Bei der Verwendung des Begriffes der dreidimensionalen Anzeige ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Definitionen vorherrschen, die zunächst erläutert werden sollen. Meist wird von einer 3D Anzeige gesprochen, wenn mindestens ein Tiefenschlüssel dargeboten wird (vgl. Goldstein, 2008). Tiefenschlüssel sind z.B. Schatten, Lichtkanten oder Verdeckungen. Sie ermöglichen es dem Betrachter auf Basis einer monokularen Darbietung einen räumlichen Eindruck zu erhalten. Anzeigen die einen plastischen Tiefeneffekt vermitteln werden hingegen als stereoskopische Anzeigen bezeichnet, da bei diesen die stereoskopische Disparität als (zusätzlicher) Tiefenschlüssel dient. Zur Unterscheidung werden im Rahmen dieser Arbeit die dreidimensionalen Anzeigen, die ausschließlich auf monokularen Tiefenschlüsseln beruhen, als 3D Anzeigen, stereoskopische Varianten hingegen mit dem entsprechenden Zusatz gekennzeichnet, auch wenn diese

neben der stereoskopischen Disparität zusätzlich monokulare Tiefenschlüssel verwenden. Die Intensität des räumlichen Tiefeneindrucks steigt gemäß der Theorie der mehrfachen Tiefenkriterien mit der Anzahl der verwendeten Tiefenschlüssel an, wobei sich deren Auswirkung auf den räumlichen Eindruck unterscheiden, und unterschiedliche Kombinationen verschiedene Eindrucksstärken und diesbezügliche Wechselwirkungen aufweisen können (vgl. Goldstein, 2008). Des Weiteren gilt es zwischen zwei verschiedenen Bezugsrahmen bei der Perspektivenwahl dreidimensionaler Anzeigen zu unterscheiden, nämlich der ego- und der exozentrischen Perspektive. Erstere bezeichnen eine Szenendarbietung aus der Position und dem Blickwinkel eines sich innerhalb der Szene befindlichen Betrachters, und sind besonders für Aufgaben vorteilhaft, die einen egozentrischen Bezugsrahmen besitzen, also z.B. bei der Verfolgung einer dreidimensional vorgegebenen Flugroute aus der Perspektive eines sich im Cockpit befindlichen Piloten (vgl. Haskell & Wickens, 1993). Letztere bezeichnen Darstellungen die Bezug auf allgemeingültiges Weltwissen nehmen, also z.B. die Referenzierung auf die Himmelsrichtungen mit einer Ausrichtung von Norden nach oben, und liefern durch die Positionierung der virtuellen Kamera über und / oder hinter dem Betrachter einen größeren Bildausschnitt als die egozentrische Perspektive (vgl. Woods, 1984). Dadurch ermöglichen exozentrische Darstellungen meist ein besseres Verständnis und eine bessere Orientierung räumlicher Anordnungen sowie, ein fester Bezugsrahmen vorausgesetzt, eine leichtere Kommunikation über die vorliegende Anordnung. Zudem fördern sie die Bildung räumlichen Übersichtswissens (vgl. Wickens et al, 1997; Krüger, 2007). Für die Luftlagedarstellung des Kontrollbereiches findet daher sowohl bei der Referenzanzeige als auch in einschlägigen Forschungsarbeiten stets die exozentrische Perspektive Verwendung. Daher werden egozentrische Perspektiven im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Zur Schaffung einer Grundlage für die Beschreibung einer dreidimensionalen exozentrischen Darstellung werden zunächst einige Begrifflichkeiten erläutert und durch Abbildung 2-3 (Seite 19) veranschaulicht. Zunächst kann die Darstellung in einem kartesischen dreidimensionalen Koordinatensystem bestehend aus einer x-, y- und einer z-Achse verortet werden (a). Höhen- und Azimutwinkel lassen sich zur Beschreibung der Perspektive heranziehen und ergeben den Blickwinkel der virtuellen Kamera auf den Bildmittelpunkt (b). Der Azimutwinkel lässt sich durch eine Rotation um die y-Achse, der Höhenwinkel durch

eine Rotation um die x-Achse verändern. Ferner kann zwischen einer Zentralperspektive (c) und einer orthogonalen Parallelperspektive (d) unterschieden werden. Bei ersterer konvergieren die Linien in der Tiefe in einem Fluchtpunkt, bei letzterer hingegen nicht (vgl. Goldstein, 2008; Krüger, 2007).

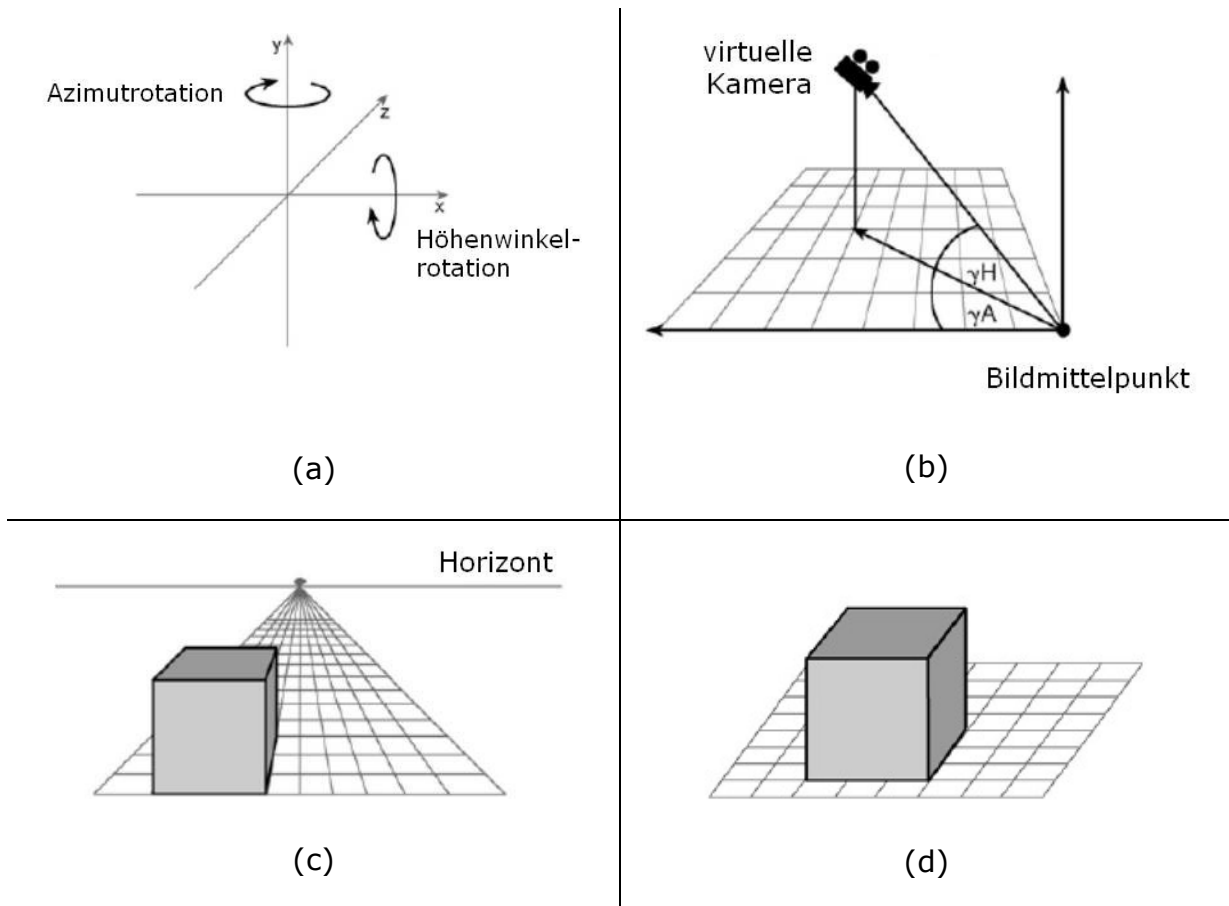


Abbildung 2-3: (a) Koordinatensystem bestehend aus x-, y- und z-Achse, (b) Kombination aus Azimut- (γ_A) und Höhenwinkel (γ_H) dienen der Perspektivenbeschreibung, (c) Zentralperspektive mit Fluchtpunkt in der Bildmitte, (d) orthogonale Parallelperspektive (vgl. Krüger, 2007)

Befundlage zum Einsatz (stereoskopischer) 3D Anzeigen

Forschungsarbeiten zum Einsatz dreidimensionaler (stereoskopischer) Anzeigen reichen bis zur Mitte der neunziger Jahre zurück. Es wurden erste Versuche unternommen, sowohl perspektivische als auch stereoskopische Visualisierungsformen für Flugsicherungszwecke zu nutzen (vgl. Brown, 1994; Wickens, 1995). Die Forschungsarbeiten zeigen unterschiedliche Schwerpunktsetzungen, die sich hauptsächlich auf Effekte durch verschiedene Anzeige- oder Aufgabenmerkmale beziehen, und in geringerer Häufigkeit auf Wechselwirkungen zwischen beiden, sowie auf Einflüsse durch Personmerkmale abheben.

Effekte aufgrund spezifischer Anzeigemerkmale: Im Zentrum der Betrachtung stehen hierbei vor allem die Einflüsse spezifischer Anzeigemerkmale auf die Leistung bei der Ausführung einer nicht weiter spezifizierten Aufgabe. Einer der wichtigsten Aspekte (stereoskopischer) 3D Anzeigen ist das Auftreten von Ambiguitäten entlang der Sichtlinie des Betrachters. Sie führen dazu, dass beispielsweise die Lotlinien zweier Objekte mit unterschiedlicher Höhe gleich lang sein können, wenn sich eines der beiden Objekte näher zum Auge des Betrachters befindet als das andere Objekt (vgl. Sedgwick, 1986, *Projective Ambiguity*). Obgleich die Hinzunahme weiterer Tiefenschlüssel diese Ambiguitäten aufzuklären vermag, besteht ein weiteres Problem räumlicher Tiefendarstellungen in dem unvermeidlichen Auftreten von Verzerrungen. Diese ergeben sich dadurch, dass sich orthogonal zur Sichtlinie des Betrachters dargestellte Höhen- und Breiteninformationen linear zur Veränderung des Betrachtungsabstandes verhalten, wohingegen sich Tiefeninformationen nichtlinear sondern in einem etwa quadratischen Verhältnis verändern. Durch diese asymmetrische Kompression der räumlichen Tiefenansicht entstehen aus Sicht des Betrachters Verzerrungen von Distanzen und Winkeln (vgl. Gillam, 1995). Des Weiteren findet eine Kompression der Objektprojektionen bei deren Annäherung an die Sichtlinie statt (vgl. Sedgwick, 1986, *Foreshortening*). Smallman et al (2001) veranschaulichen die sich durch Ambiguitäten und Verzerrungen ergebenden Vor- und Nachteile bei der Positionserkennung mit typischen 2D und 3D Anzeigen, siehe Abbildung 2-4.

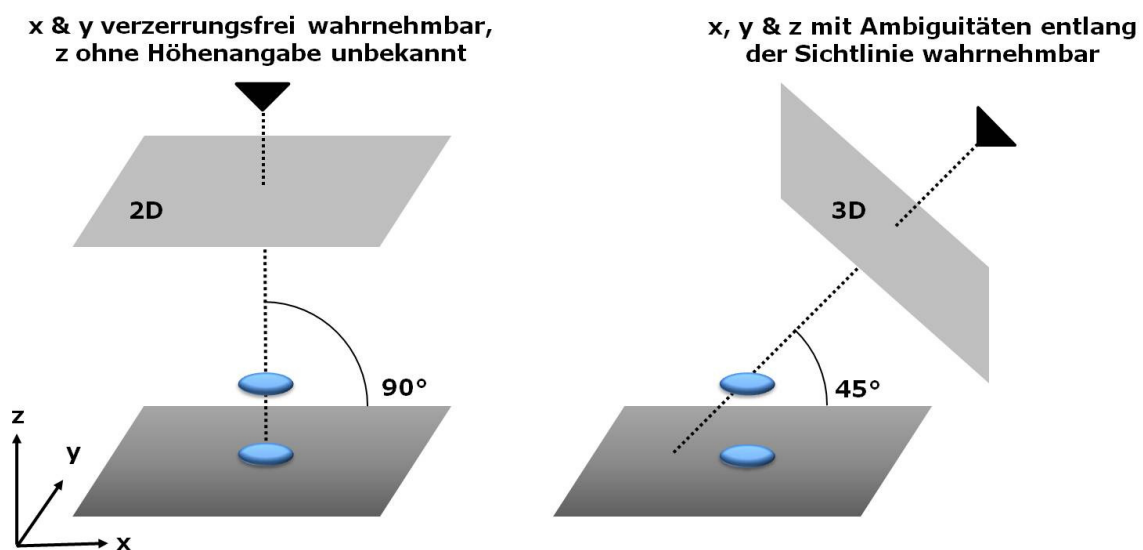


Abbildung 2-4: Schematische Darstellung von Informationsgehalt und optischen Verzerrungen entlang der Sichtlinie mit typischen 2D und 3D Darstellungen (vgl. Smallman et al, 2001)

Eine weitere Eigenschaft (stereoskopischer) dreidimensionaler Darstellungen ergibt sich dadurch, dass weiter vom Betrachter entfernten Objekten weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird als näher dargebotenen. Eine Studie von Andersen & Kramer (1993) zeigt, dass sich bei Verwendung von 3D Anzeigen einen sowohl elliptischer Aufmerksamkeitsfokus mit einer größeren Ausdehnung auf der horizontalen Achse nachweisen lässt, als auch eine höhere Aufmerksamkeit auf Objekte, die im Bereich sich kreuzender Sichtlinien beider Augen befinden. D.h., dass kritische Ereignisse, die in der Tiefenebene auf die der Aufmerksamkeitsfokus gerichtet ist, sowie denen, die zwischen dieser Ebene und dem Betrachter liegen, eine größere Aufmerksamkeit zukommt als Objekten die hinter dieser Tiefenebene liegen. Des Weiteren ist der Aufmerksamkeitsfokus beobachterzentriert, kann also schneller von fern nach nah gelenkt werden als umgekehrt. Subjektiven Berichten der Probanden von Brown & Slater (1997) zufolge führt dieses Phänomen zu Einschränkungen der Nützlichkeit dreidimensionaler Anzeigen für Flugsicherungszwecke.

Zur Lösung der sich aus Ambiguitäten und Eigenschaften der Aufmerksamkeitsverteilung ergebenden Probleme wird häufig die Möglichkeit der Szenenrotation vorgeschlagen (vgl. Goldstein, 2008). Abbildung 2-3 (Seite 19, a) zeigt die Rotationswinkel um die horizontale und die vertikale Hauptachse, wodurch sich gezielte Perspektiveneinstellungen realisieren lassen. Sie erzeugt zudem den Vorteil, Objektverdeckungen auflösen zu können (vgl. ebd.). Sollenberger & Milgram (1993) berichten von positiven Effekten der Rotation auf die Urteilsleistung bei der Verfolgung komplexer räumlicher Pfadanordnungen sowohl in Verbindung mit 3D ohne als auch mit Stereoskopie als Tiefenschlüssel. Die Kombination von Rotation und Stereoskopie lieferte die höchste Urteilsleistung. Crvarich (1995) zufolge ist eine aus Sicht des Benutzers aktive (manuelle) Rotationsmöglichkeit einer passiven (automatischen) zu bevorzugen, und führt zu einer Erhöhung der Urteilsleistung auch unter hohem Zeitdruck. Während die Möglichkeit einer Azimutrotation offenbar vor allem bei der Einschätzung relativer Höheninformationen vorteilhaft ist, scheint die Wahl des Höhen- und Blickwinkels sich hingegen hauptsächlich auf die Leistung bei der Einschätzung von Azimutverhältnissen auszuwirken (vgl. Barfield, 1998; Crvarich, 1995; Sollenberger & Milgram, 1993). Hendrix & Barfield (1997) verglichen die Leistung bei der Einschätzung relativer Objektpositionen mit 3D und stereoskopischen 3D Anzeigen unter syste-

matischer Variation des Höhenwinkels und erzielten die besten Leistungen mit Winkeln zwischen 15° und 45°, und zwar unabhängig davon, ob die Anzeige über Stereoskopie verfügte oder nicht. Barfield (1998) variierte den Blickwinkel auf die Szenerie und erzielte die besten Ergebnisse bei der Beurteilung relativer Objektpositionen mit einem Wert von 30°.

Eignung für unterschiedliche Aufgaben: Im Gegensatz zum vorangehenden Abschnitt steht hier vor allem die Leistung in Abhängigkeit von spezifischen Aufgabenmerkmalen im Fokus. Auf Effekte verschiedener Anzeigemerkmale wird nicht näher eingegangen. Brown & Slater (1997) verglichen 2D, 3D und stereoskopische 3D Anzeigen miteinander und fanden in Verbindung mit 2D die insgesamt besten Leistungen bei der Abschätzung von Azimutwinkeln und lateralen Distanzen, gefolgt von der stereoskopischen 3D Anzeige und 3D. Wickens (1995) verglich ebenfalls die Leistung von Fluglotsen und Piloten mit 2D, 3D und einer stereoskopischen 3D Anzeige anhand repräsentativer Konfliktszenarien zwischen zwei Luftfahrzeugen. Dabei traten unter Zuhilfenahme von 3D häufiger Fehler bei der Einschätzung der Luftfahrzeuggeschwindigkeiten auf, und bei Verwendung der stereoskopischen 3D Anzeige ergab sich eine größere Zeitdauer zur Flugrichtungseinschätzung als mit 2D. Van Orden & Broyles (2000) berichten, dass die Einschätzung von Luftfahrzeuggeschwindigkeiten und Flugrichtungen, sowie die Gabe von Anweisung in Form von Richtungsvektoren mit der verwendeten stereoskopischen 3D Anzeige eine höhere Zeitdauer erforderte und zu einer geringeren Genauigkeit führte als 2D. Die Beurteilung von Objekthöhen bedingte eine größere Zeitdauer mit der stereoskopischen Anzeige, liefert jedoch eine höhere Urteilsleistung als 2D und 3D ohne Stereoskopie. Bei der Einschätzung und Vermeidung von Kollisionen zeigten sich sowohl hinsichtlich der benötigten Zeitdauer als auch der Urteilsleistung Vorteile stereoskopischer 3D Anzeigen. Tavanti et al (2003), die statische Luftfahrzeughöhenvergleiche mit einer 2D und einer stereoskopischen 3D Anzeige sowie Fluglotsen als Probanden durchführten, berichten sowohl von ca. 15% kürzeren Reaktionszeiten, als auch von ca. 5% höheren Urteilsleistungen in Verbindung mit 3D.

Wickens & Carswell (1995) schlagen vor, 3D Anzeigen immer dann einzusetzen, wenn die auszuführende Aufgabe einer Integration aller drei Dimensionen erfordert, oder wenn die Aufgabenausführung ohne die Verwendung einer Anzeige eine ähnliche Dimensionsintegration bedingt. Aufgaben die von einer fokussierten

Aufmerksamkeit auf die einzelnen Dimensionsaspekte und deren schrittweise Verarbeitung profitieren sollten den Autoren zufolge zweidimensional dargeboten werden. Aufgaben, die von der parallelen Aufmerksamkeitsausrichtung und Verarbeitung der Dimensionsaspekte profitieren, sollten hingegen dreidimensional dargestellt werden (vgl. Haskell & Wickens, 1993).

Wechselwirkungen zwischen Anzeige- und Aufgabenmerkmalen: Befunde hierzu finden sich vor allem in Studien, die sich mit Kombinationen von 2D und (stereoskopischen) 3D Anzeigen befassen. Diese Kombinationen versprechen eine Verbindung der Vorteile beider Darstellungsformen, ohne deren jeweilige Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Tory et al (2004) berichten Vorteile durch kombinierte Anzeigen im Hinblick auf die räumliche Orientierung und präzise Positionseinschätzung. Die benötigte Zeitdauer zur exakten Positionsbestimmung lag mit der kombinierten Anzeige unter der von 2D. Die Hinzunahme weiterer Tiefenschlüssel (Schattenwurf) führte jedoch zur geringsten Zeitdauer zur Positionsbestimmung mit der alleinigen 3D Anzeige, die gleichzeitig auch die größte Fehlerrate erzeugte. Die benötigte Zeitdauer in einer Orientierungsaufgabe war am geringsten mit der alleinigen 3D Anzeige. Die kombinierte als auch die 2D Anzeige weisen die geringste Fehlerrate im Rahmen der Orientierungsaufgabe auf. Wong et al (2007) entwickelten zehn kombinierte Anzeigekonzepte zur Verbindung der Vorteile von 2D und 3D. Ihre Expertenbefragung deutet auf das Potential derartiger Kombinationen für extrem ausgelastete Luftraumbereiche hin, wie z.B. den An- und Abflugkontrollbereich und Warteschleifen (sog. *Holding Stacks*). Wickens (1995) zufolge sind bei Kombinationen aus 2D und (stereoskopischen) 3D Anzeigen jedoch Leistungseinschränkungen durch einen erhöhten kognitiven Aufwand zu erwarten, der durch die erforderliche mentale Integration zusammengehöriger Informationen aus unterschiedlichen Anzeigen entsteht (vgl. Wickens, 1995; *Proximity Compatibility Principle*). Etwaige Kombinationsvorteile können dadurch verschwinden bzw. nur bei geringer Beanspruchung auftreten.

Nicht zuletzt ist auch der von Experten häufig identifizierte Einsatzbereich dreidimensionaler Luftraumdarstellungen als Trainingstool für Lotsenschüler zu erwähnen. In mehreren Vergleichsstudie zwischen 2D und 3D zeigte sich dann ein positiver Transfer, wenn die Konfliktszenarien zuerst mit 3D und anschließend mit 2D dargeboten wurden, nicht aber umgekehrt (vgl. Cooper et al, 2010; Tavanti & Cooper, 2008; Wickens, 1995).

Einflüsse durch Personmerkmale: Bislang liegen keine Studien vor, die sich explizit den Einflüssen interindividueller Unterschiede auf Leistungsaspekte in Verbindung mit unterschiedlicher Anzeigen und Aufgaben im Flugsicherungsbe-
reich widmen. Jedoch werden Personmerkmale häufig als Erklärungsansatz für uneinheitliche Befunde herangezogen. In einer Studie von Brown & Slater (1997) mit Laien und Experten als Probanden wurde die schnellste Einschätzung der Luftfahrzeughöhen von den Laien in Verbindung mit der stereoskopischen 3D Anzeige gefolgt von 2D und 3D erzielt. Die Autoren begründen die Zeitvorteile der Laien gegenüber den Experten mit der Selbstauskunft letzterer, ihre Entscheidung stets aufgrund der alphanumerisch dargebotenen Labelinhalte zu treffen, und die grafische Höhendarstellung aus Gewohnheit ungenutzt zu lassen, oder lediglich zur Unsicherheitsreduktion heranzuziehen. Sowohl einige Laien als auch Experten gaben an, die Lotlänge zur qualitativen Höheneinschätzung einzusetzen, und diesen Eindruck durch die quantitative Höhenangabe im Label zu bestätigen. Gleichzeitig merkten Sie an, dass diese Vorgehensweise jedoch dann nicht zielführend sei, wenn die Lotlinien eine ähnliche Lage aufweisen und die Luftfahrzeuge weit voneinander entfernt seien. Experten zeigten keine Leistungsunterschiede zwischen den Anzeigen, und waren stets langsamer als Laien. Des Weiteren berichten die Autoren von Ergebnissen im Rahmen einer Studie mit dynamischen Konfliktbeurteilungsaufgaben, in denen Experten signifikant höhere Urteilsleistungen zeigten als Laien, und sowohl mit 3D, als auch mit der stereoskopischen 3D Anzeige erheblich höhere Falschalarmraten lieferten. Über diese Befunde hinaus sind Schwierigkeiten bei der Bewertung innovativer Systeme durch Experten zu erwarten, da diese Wong et al (2009) zufolge Neuerungen gegenüber häufig kritisch eingestellt seien, und vor allem dann zu negativen Bewertungen führe, wenn sich die zu beurteilenden Systeme in einem Prototypenstadium befänden, und daher noch nicht über einen vollen Funktionsumfang verfügen. Den Autoren zufolge stellt der Umstand, dass neue Systeme häufig Veränderungen der gewohnten Arbeitsweisen bedingen und entsprechende Anpassungen erfordern, eine weitere Quelle negativer Expertenurteile dar (vgl. ebd.). Diese Anpassungen bedingen ausgiebige Übungsphasen. Tavanti et al (2003) sowie Smallman et al (2001) ist die Zeitdauer, die Probanden im Rahmen von Evaluationsstudien üblicherweise mit den Systemen verbringen, für umfangreiche Anpassungen komplexer Bearbeitungsstrategien meist zu kurz, so dass neben der

Einstellung gegenüber Neuerungen auch das Vorliegen unterschiedlicher Erfahrungshintergründe und Strategien erhebliche Unterschiede hervorrufen kann. Das Selbe gilt für die persönliche Leistungsfähigkeit der Probanden (vgl. Kluwe, 2006), was besonders bei kleinen Stichproben zu erheblichen Einschränkungen der Generalisierbarkeit der Befunde führen kann (vgl. Bortz & Döring, 2006). Tory et al (2004) sind sich dessen bewusst, und weisen in einer Studie mit acht Probanden darauf hin, dass sich durch die zufällige Rekrutierung von Probanden mit besonders gut ausgeprägten räumlichen Fähigkeiten erhebliche Einschränkungen der Generalisierbarkeit ergeben können. Meijer & Van den Broek (2010) zeigen z.B., dass Personen, die geringere visuell-räumliche Fähigkeiten aufweisen, mehr von aktiver Exploration mit dreidimensionalen Darstellungen profitieren, als Personen mit entsprechend höher ausgeprägten Fähigkeiten. Zudem setzen diese beiden Gruppen unterschiedliche Explorationsstrategien bei der Aufgabenbearbeitung ein. Darüber hinaus können klassische Persönlichkeitsmerkmale der Probanden einen gewichtigen Einfluss auf die Ergebnisse ausüben. Meyer et al (2009) zeigen, dass die emotionale Stabilität, Gewissenhaftigkeit, Leistungsmotivation und Risikoneigung der Probanden einen erheblichen Einfluss auf deren Leistung bei der Interaktion mit komplexen Mensch-Maschine-Systemen ausüben und schlagen vor, diese Merkmale zur nachträglichen Kontrolle diesbezüglicher Einflüsse im Rahmen der Datenauswertung stets mitzuerheben.

2.3 Zusammenfassende Beurteilung

Die Befundlage zur Eignung (stereoskopischer) 3D Darstellungen zur Flugverkehrskontrolle erlaubt bislang keine Ableitung eindeutiger Schlussfolgerungen, was damit erklärt wird, dass sich die zugrundeliegenden Studien hinsichtlich zahlreicher Aspekte unterscheiden (vgl. Tavanti et al, 2004). Auch hier ist eine der oben dargelegten Gliederung folgende Einteilung in Anzeige-, Aufgaben- und Personmerkmale hilfreich.

Hinsichtlich der **Anzeigemerkmale** sind unterschiedliche Farbkodierungen, Perspektiven, Hilfsdarstellungen, uvm. zu nennen, die häufig nicht detailliert berichtet werden, und einen Vergleich von Studienergebnissen erschweren. So kann z.B. eine statische vs. dynamische Szenarienpräsentation, sowie bei letzterer die Aktualisierungsfrequenz der Objektrepräsentationen zu erheblichen Leistungsunterschieden führen (vgl. Lee & Klippel, 2005).

Eine weitere Quelle uneinheitlicher Befunde erwächst durch unterschiedliche Ausprägungen der den Studien zugrundegelegten **Aufgabenmerkmale**. So erfordern einige Studien von einer qualitativen Einschätzung des Luftraumgeschehens durch die Probanden (vgl. z.B. Tory et al, 2004; Tavanti et al, 2003), während andere eine exakte Einschätzung von relativen Winkeln und Abständen verlangen (vgl. Van Orden & Broyles, 2000). Ein vergleichsweise konsistenter Befund, der durch zahlreiche Studien bestätigt wird, deutet darauf hin, dass sich (stereoskopische) 3D Anzeigen dann am besten zur Aufgabenausführung eignen, wenn ein genereller und eher qualitativer Überblick über die Struktur einer räumlichen Szenerie, also z.B. die grobe Lokalisation von Objekten im Raum gefordert wird. Dies wird damit begründet, dass die integrierte Anzeige aller drei Dimensionen innerhalb einer Darstellung ein natürliches und daher leicht verständliches Situationsbild liefert. Demgegenüber sind 2D Anzeigen dann von Vorteil, wenn die Einschätzung exakter Distanzen und Winkel erforderlich ist, da die Wahrnehmung hierbei nicht durch Ambiguitäten und Verzerrungen erschwert wird (vgl. St. John et al, 2001; Smallman et al, 2001). Brown & Slater (1997) zufolge können o.g. Vorteile (stereoskopischer) 3D Darstellungen durch deren vergleichsweise hohe Informationsdichte ausbleiben, indem sich diese negativ auf den mentalen Beanspruchungsgrad der Operateure auswirkt. Außerdem besteht bei 3D Anzeigen eine größere Gefahr von Objektverdeckungen (vgl. Dang, 2005). Darüber hinaus stellen Brown & Slater (1997) in Frage, ob die Fluglotsenaufgabe einer Integration von lateraler und vertikaler Information bedarf, oder ob diese beiden Dimensionen zur Erzielung einer hohen Leistung besser getrennt zu verarbeiten sind, was zu einer Aufhebung der Vorteile der 3D Varianten gegenüber 2D führen könnte. Van Orden & Broyles (2000), die eine uneinheitliche Befundlage eines Vergleiches verschiedener 2D, 3D und stereoskopischer 3D Anzeigen mittels dynamischer Flugsicherungsaufgaben und unter Einsatz von Fluglotsen als Probanden darlegen, geben zu bedenken, dass die Fluglotsenaufgabe meist auf Basis lateraler Dimensionsaspekte erledigt werde, und die vertikale Dimension eher nominal Berücksichtigung finde. Sie schließen daraus, dass die Darbietung der vertikalen Luftraumausdehnung einen geringen Nutzen erwarten lässt.

Das vorangehende Kapitel zeigt auf, dass auch **Personmerkmale** als Quelle uneinheitlicher Befunde fungieren können. So werden unterschiedliche Studienergebnisse sowohl auf Einflüsse durch die Expertise der teilnehmenden Probanden,

als auch auf deren Einstellung und kognitive Leistungsfähigkeit zurückgeführt. Expertiseeinflüsse lassen sich z.B. durch Leistungsvergleiche zwischen Experten und Laien adressieren (vgl. Brown & Slater 1997). Des Weiteren lassen sich deren eingesetzte Strategien analysieren. So ermittelten z.B. Brown & Slater (ebd.) auf Basis der Nachfrage zur Strategieverwendung, dass ihre Probanden mit 3D zunächst die Abstände der Lotfußpunkte auf der Grundfläche miteinander verglichen, was dem Vorgehen bei der lateralen Distanzeinschätzung unter Verwendung von 2D entspricht. Im Anschluss daran wurden die Höhen der Objekte separat eingeschätzt, deren Fußpunkte sehr nahe beieinander lagen. Dieser Befund stützt die weiter oben von Van Orden & Broyles (2000) dargelegte Schlussfolgerung zur Nützlichkeit analoger Höhendarstellungen. Studien die speziell auf Effekte von Einstellungs-, Persönlichkeits- und kognitiven Leistungsunterschieden in Verbindung mit dreidimensionalen Anzeigen im Flugsicherungskontext abheben liegen bislang nicht vor. Für andere Bereiche wie den der Prozessführung und -überwachung liegen hingegen Befunde zu Einflüssen durch Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmale vor (vgl. Meyer et al, 2009). Die erhobenen Personenmerkmale dienen dabei als Kontrollvariable im Rahmen varianzanalytischer Datenauswertungen. Befunde zu Einflüssen aufgrund kognitiver Leistungsaspekte finden sich hauptsächlich in eigens zu deren Untersuchung entwickelten Aufgaben (vgl. Shepard & Metzler, 1997; Meijer & Van den Broek, 2010), sowie z.B. in der Medizintechnik (vgl. Eyal & Tendick, 2001) und Virtual Reality Forschung (vgl. Tyndiuk et al, 2007). Die Einflüsse der erfassen kognitiven Eigenschaften auf die Aufgabenleistungen werden dabei meist in Form von Zusammenhangsanalysen oder durch Einführung von Faktoren und Berechnungen von Varianzanalysen überprüft.

Der Forschungsstand weist keine explizite Berücksichtigung der in Kapitel 2.1.4 dargelegten **Situationsmerkmale** auf, obgleich diesen stets eine hohe Relevanz für den Flugsicherungskontext zugesprochen wird. Somit fehlen bislang empirische Anhaltspunkte zur Eignungseinschätzung unterschiedlicher Anzeigen für realistische Beanspruchungskontexte. Wickens (2004) zufolge ist jedoch davon auszugehen, dass sich bestimmte Situationsmerkmale in unterschiedlichem Maße auf die Informationsverarbeitung mit 2D und (stereoskopischen) 3D Anzeigen auswirken, wodurch sich eine weitere Quelle für uneinheitliche Studienergebnisse ergibt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle erhebliche Auswirkungen auf die Leistung des Gesamtsystems ausüben kann. Es wird deutlich, dass die Kernaufgabe von Fluglotsen, nämlich die permanente Sicherstellung der vorgeschriebenen Mindestseparationen aller Luftfahrzeuge innerhalb ihres Zuständigkeitsbereiches, enorm hohe Anforderungen an die Operateure stellt. Diese erwachsen aus der ständigen Situationsdynamik, die eine kontinuierliche Extrapolation der Flugbahnen aller Objekte und die Überprüfung auf etwaige Unterschreitungen der Mindestseparationsabstände erfordert. Der Aufbau und kontinuierliche Aufrechterhalt eines umfassenden Situationsbewusstseins ist dazu unabdingbar und wird als grundlegend für eine sichere und effiziente Aufgabenausführung angesehen. Gerade diese Anforderung ist jedoch schwierig zu erfüllen, da zu dessen Erlangung ein hoher mentaler Ressourceneinsatz erforderlich ist. Aus Sicht gängiger Modelle zur Beschreibung menschlicher Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung liegt dieser zum einen in der Integrationserfordernis von grafisch dargestellten lateralen Objektpositionen mit numerischen Höhenangaben begründet, und erwächst zum anderen aus Unsicherheiten bezüglich zukünftiger Luftfahrzeugseparationen. Zudem sind Interferenzeffekte mit 2D bei der zeitkritischen Verarbeitung visuell-verbaler Höheninformationen und der gleichzeitigen Sprechfunküberwachung zu erwarten. Für den Lotsen gilt es stets, die Notwendigkeit eines Eingriffes abzuwägen. Eine Entscheidung für einen Eingriff erfordert eine ressourcenaufwändige strategische Planung, um die Entstehung weiterer kritischer Situationen, Effizienzeinbußen, sowie zusätzliche Sprechfunkauslastung zu vermeiden. Eine Entscheidung gegen einen Eingriff hingegen führt im schlimmsten Fall zu katastrophalen Folgen durch einen Zusammenstoß zweier Luftfahrzeuge. Der Einsatz kognitiver Strategien zur schnellen und effizienten Entscheidungsfindung, und damit der unmittelbaren Unsicherheitsreduktion, helfen erfahrenen Lotsen dabei, ihre mentale Beanspruchung zu regulieren und stets ein sehr hohes Maß an Situationsbewusstsein aufrecht zu erhalten. Dies führt jedoch häufig zu unnötigen Eingriffen, sog. Falschalarmen, die es zum Zwecke der effizienten Kapazitätsnutzung zu vermeiden gilt. Intelligente Assistenzsysteme bieten heute eine erhebliche Unterstützung bei der Entscheidungsfindung. Nichts desto trotz verbleibt die Entscheidung und damit die Verantwortung bei den Operateuren.

Forschungsergebnisse zum Einsatz dreidimensionaler Anzeigen weisen auf viel versprechende Möglichkeiten hin, dem Operateur durch die zusätzliche Darbietung von Luftfahrzeughöhen eine Erleichterung des Überblickes über das Luftraumgeschehen zu verschaffen, und ihn damit beim Aufbau und Aufrechterhalt des erforderlichen Situationsverständnisses zu unterstützen. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Darbietung eines schnell wahrnehmbaren globalen Überblicks für die große Bandbreite der auszuführenden Fluglotsenaufgaben nicht ausreicht, sondern auch die exakte Beurteilung relativer Luftfahrzeugpositionen und -geschwindigkeiten unabdingbar ist. In den teils widersprüchlichen Forschungsergebnissen scheint sich diese Aufgabe jedoch eine Schwäche dreidimensionaler Anzeigen zu sein, die zwar durch stereoskopische Tiefenreize verringert, nicht aber gänzlich ausgeglichen werden kann. Allen voran erschweren die ungenügende Einschätzbarkeit relativer lateraler Distanzen und Objektgeschwindigkeiten den Einsatz von 3D Anzeigen für die Flugsicherung, da eine Verringerung der Unsicherheit, die für eine Reduktion der mentalen Beanspruchung und Unterstützung des Situationsbewusstseins notwendig wäre, auf dieser Basis nicht möglich scheint. Auch kombinierte 2D/3D Anzeigen stellen keine optimale Lösung dar, da diese eine mentale Informationsintegration erfordern, die zu Lasten verfügbarer mentaler Ressourcen gehen. Der Einsatz von 3D Anzeigen für spezifische Bereiche, in denen ihre Stärken genutzt und ihre Schwächen vernachlässigt werden können, bildet eine interessante Option. Hierzu ist jedoch deren genaue Kenntnis notwendig, die sich dem aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand aufgrund der uneinheitlichen und teils widersprüchlichen Befundlage sowie der isolierten Betrachtungen jeweils einzelner Aspekte nicht entnehmen lässt. Umfassende Forschungsarbeiten, in denen systematische Kontrollen der Einflüsse von Anzeige-, Aufgaben-, Person- und Situationsmerkmale stattfinden um Wechselwirkungen zwischen diesen einzubeziehen, stehen bislang aus.

3 Grundlagen & Ziele

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und Ziele sowie der Aufbau und Ablauf der vorliegenden Arbeit erläutert. Als Grundlagen werden zum einen die sich aus dem aktuellen Forschungsstand ergebenden und im Folgenden als Annahmen gekennzeichneten Forschungsbedarfe und Implikationen für die gewählte Vorgehensweisen erläutert. Zum anderen werden Theorien dargelegt, die der Ab-

leitung von Fragestellungen und Erklärung der Befunde dienen. Des Weiteren werden zu berücksichtigende methodische Aspekte beleuchtet. In der Beschreibung der Zielsetzungen werden die Aspekte herausgearbeitet, denen sich diese Arbeit in der Hauptsache widmet, sowie Punkte benannt, denen aus Gründen der Umfangsbegrenzung dieser Dissertation keine Aufmerksamkeit zu Teil wird. Eine Übersicht über den Aufbau und Ablauf der nachfolgenden Kapitel hilft dem Leser dabei sich zu orientieren, und erleichtert es unterschiedlichen Interessengruppen, die jeweils für sie relevanten Informationen aufzufinden.

3.1 Annahmen & theoretische Modelle

Die Ausführungen zum aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand zeigen, dass trotz einer Vielzahl vergleichender Studien zur Ermittlung von Unterschieden zwischen 2D und 3D Anzeigen für die Flugsicherung weder klare Aussagen zur generellen Eignung von 3D Anzeigen noch zu deren Stärken und Schwächen für spezifische Anwendungsfälle abgeleitet werden können. Auch zu Einflüssen auf die Ergebnisse vergleichender Untersuchungen durch Störvariablen, wie Unterschiede hinsichtlich Expertisegrad, Strategieeinsatz, oder kognitiver Leistungsfähigkeit der Probanden finden sich lediglich Mutmaßungen, die häufig als Erklärungsansatz für heterogene Befunde herangezogen werden. Ein möglicher Ansatz zur Aufklärung der uneinheitlichen Befundlage bildet die Durchführung von Untersuchungen zur Ermittlung von Unterschieden zwischen 2D und 3D Anzeigen unter Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren, was jedoch den Rahmen der meisten wissenschaftlichen Arbeiten sprengen dürfte. Die Berücksichtigung möglichst vieler relevanter Einflussfaktoren innerhalb einer Arbeit bringt jedoch den Vorteil mit sich, über die Effekte einzelner Faktorausprägungen hinaus, auch etwaige Wechselwirkungen zwischen diesen untersuchen, und damit eine Vielzahl an Fragestellungen auf Basis einer einheitlichen Datengrundlage bearbeiten zu können. Obgleich eine stringente Schwerpunktsetzung als unabdingbar für eine zielgerichtete Vorgehensweise und eine klar strukturierte wissenschaftliche Arbeit zu erachten ist, soll die Gelegenheit der Verfügbarkeit von Experten unterschiedlicher Domänen und interessierten Laien, modernster Virtual Reality Technologie, sowie experimentalpsychologischer Expertise die das Verbundprojekt iPort bietet und im Rahmen dessen die vorliegende Arbeit durchgeführt wird, für eine solch umfassenden Studie genutzt werden.

3.1.1 Unsicherheit bei der Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen

Als Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit dient das bereits vorgestellte Modell zum Einfluss der Entscheidungssicherheit der Fluglotsen ihr Verhalten, siehe Abbildung 2-2, Seite 10. Es wird davon ausgegangen, dass die Entscheidungssicherheit bei der Einschätzung von Separationsabständen eine der zentralen Einflussgrößen auf die mentale Beanspruchung und das Situationsbewusstsein darstellt. Grund für diese Annahme ist die Überlegung, dass mit einer größeren Unsicherheit auch eine höhere Anforderung an zeitlichen und mentalen Ressourcen einhergeht, sollen ineffizienten Handlungen vermieden werden. Dadurch, dass diese Ressourcen durch den Abbau der Unsicherheit gebunden werden, wirkt sie sich negativ auf die mentale Beanspruchung und das Situationsbewusstsein aus. Ihre Reduktion leistet daher einen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit und Effizienz des Flugsicherungssystems.

3.1.2 Aufgabenmerkmale

Aufgrund der Befunde zum Einfluss von Konvergenzwinkel, vertikaler Bewegung und lateralen Geschwindigkeitsverhältnissen auf die Leistung bei der Konflikteinschätzung mit 2D ist davon auszugehen, dass diese Aufgabenmerkmale auch einen erheblichen Einfluss auf die Leistung mit 3D Anzeigen ausüben. Des Weiteren sind all diejenigen Aufgabenmerkmale interessant, die, ausgehend vom aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand zu 3D Anzeigen für Flugsicherungszwecke, eine Wechselwirkung mit deren speziellen Eigenschaften erwarten lassen. Dies sind alle Aufgabenmerkmale bei denen sich Ambiguitäten und Verzerrungen entlang der Sichtlinie des Betrachters (vgl. Smallman et al, 2001; Van Orden & Broyles, 2000) auf die Bearbeitungsleistung auswirken. Übertragen auf die Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen Flugsicherungsszenarien betrifft dies vor allem den Ansichtswinkel auf die Szenerie sowie die Ebene (vertikal oder horizontal) auf der sich die Objekte im Falle einer Separation verfehlen. Die Kenntnis von Quantität und Qualität der Einflüsse die verschiedene Aufgabenmerkmale auf die Sicherheit und Leistung bei der Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen ausüben wird als grundlegend für die Beschreibung der Stärken und Schwächen von 3D und als notwendig zur Identifikation geeigneter Einsatzbereiche erachtet.

3.1.3 Menschliche Informationsverarbeitung

Wie obiger Aufgabenbeschreibung zu entnehmen ist, stellt die hohe Informationsdichte, die sich vor allem aus visuell kodierten Informationen der Luftraumdarstellung und den auditiven kodierten Informationen aus dem Sprechfunk zusammensetzt, eines der Hauptmerkmale der Fluglotsentätigkeit dar. Aus der Sicht menschlicher Informationsverarbeitung führt diese Informationskodierung zu Verarbeitungsunterschieden zwischen 2D und 3D. Verschiedene etablierte Modelle zur Beschreibung menschlicher Informationsverarbeitung eignen sich zur Beschreibung dieser Unterschiede. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, Verhaltensunterschiede sowohl zu erklären als auch vorherzusagen. Abhängig vom gewählten Modell liegt dessen Nutzen mehr oder weniger stark auf einem dieser beiden Aspekte. Im Folgenden werden drei gängige Modelle mit unterschiedlichen Schwerpunkten erläutert, die zur Erklärung verschiedener Aspekte der Unterschiede zwischen 2D und 3D Anzeigen geeignet sind, und häufig in ähnlichem Kontext Verwendung finden.

Dem multiplen Ressourcenmodell von Wickens et al (2004) zufolge ist bei der gleichzeitigen Wahrnehmung auditiver Information, die der Operateur über den Sprechfunk aufnimmt, und der analogen Höhenwahrnehmung in 3D eine geringere Interferenz zu erwarten, als bei der visuell-numerischen Höhendarstellung von 2D. Das Modell liefert einen Überblick über die Verarbeitungsphasen und deren Beziehung zur Wahrnehmungsmodalität, Informationskodierung und Reaktionsausführung. Grundannahme des Modells ist, dass kognitive Ressourcen insgesamt begrenzt sind, sich jedoch aus voneinander weitgehend unabhängigen Einzelkapazitäten zusammensetzen. Es unterscheidet zwischen verschiedenen Ressourcen für unterschiedliche Verarbeitungsphasen. Dies sind Ressourcen der Wahrnehmung, zentralen Informationsverarbeitung, sowie Reaktionswahl und deren Ausführung, siehe Abbildung 3-1 auf Seite 33. Die Ressourcen für die Reaktion werden weiter klassifiziert in sprachliche und die manuelle Ressourcen. Hinsichtlich der Wahrnehmung und zentralen Informationsverarbeitung wird zwischen räumlichen und verbalen Ressourcen unterschieden. Des Weiteren weist das Modell getrennte Ressourcen für Wahrnehmungsmodalitäten aus, und unterscheidet zwischen auditiven und visuellen Reizen. Die Informationskodierung kann dabei verbal oder räumlich vorliegen und sowohl auditiv als auch visuell repräsentiert sein. Die Unterscheidung hinsichtlich der Wahrnehmungs-

modalität gilt nur für die Verarbeitungsphase der Wahrnehmung, nicht aber für die zentrale Informationsverarbeitungsphase, was durch die nicht vollständig durchgezogene horizontale Linie auf der Vorderseite indiziert wird.

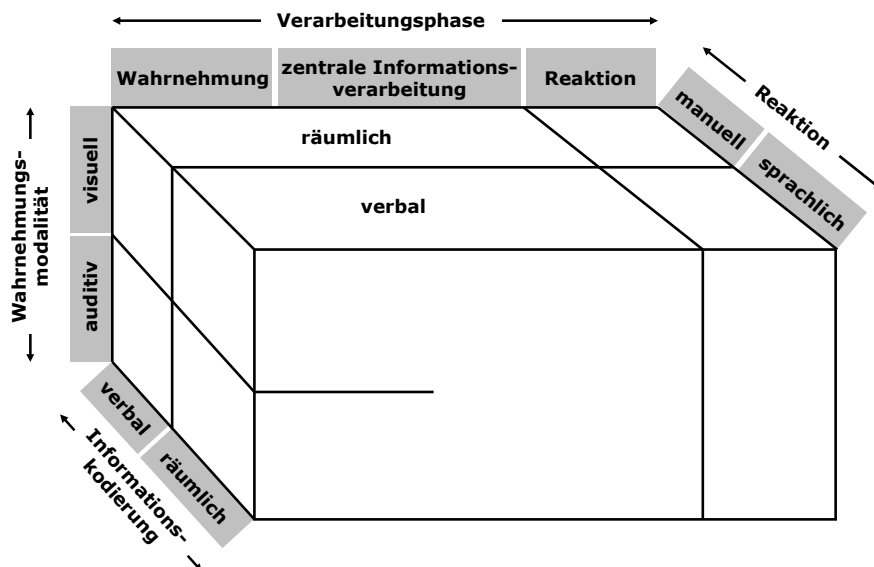


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung multipler Verarbeitungsressourcen. Vorgänge auf jeweils gegenüberliegenden Seiten einer Linie beanspruchen unterschiedliche Ressourcen, was eine weitgehend interferenzfreie parallele Verarbeitung dieser Vorgänge erlaubt (vgl. Wickens, 2008)

Zusammenfassend sagt das Modell aus, dass Aufgaben, die unterschiedliche Ressourcen in einem jeweiligen Verarbeitungsstadium erfordern, besser parallel ausgeführt werden können, als Aufgaben, die gleichen Ressourcen beanspruchen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass stets eine parallele Aufgabenbearbeitung möglich ist, wenn unterschiedliche Ressourcen beansprucht werden, sondern dass z.B. Prozesse, die auf der zentralen Informationsverarbeitungsebene parallel ablaufen sollen, auch von einer entsprechend kompatiblen Informationskodierung profitieren (vgl. Wickens, 2008). Der Vorteil des multiplen Ressourcenmodells liegt in seiner Praktikabilität, und es liefert einen ersten Anhaltspunkt zur Wahl der Informationskodierung, sofern diesbezügliche Gestaltungsoptionen vorliegen. Aufgrund seiner Einfachheit kann es jedoch nicht zur Beschreibung von zugrundeliegenden Informationsverarbeitungsprozessen herangezogen werden. Deren Verständnis ist jedoch äußerst wichtig für die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, weil es dabei hilft, Verhalten unter verschiedenen Bedingungen zu erklären.

Wickens et al (2004) liefern ein detaillierteres Verarbeitungsmodell, das über das multiple Ressourcenmodell hinausgeht. Auch in diesem Modell lässt sich die Informationsverarbeitung in die drei Phasen Wahrnehmung, zentrale Informationsverarbeitung und Reaktion einteilen. Zwar ist es ungeeignet um Arten der Informationskodierung, Wahrnehmungsmodalität und Reaktion zu klassifizieren, liefert aber eine genauere Beschreibung der Verarbeitungsphasen und deren Übergänge. Beginnend mit der Wahrnehmungsphase findet eine Unterteilung in sensorische Reizaufnahme und bewusste Wahrnehmung statt. Erstere bezeichnet einen Wahrnehmungsprozess, der zwar keiner bewussten Steuerung unterliegt, jedoch bereits durch Aufmerksamkeitsprozesse beeinflusst wird. Man kann sich den sensorischen Speicher als eine kurzfristige Verlängerung der Wahrnehmung vorstellen (vgl. Spada, 2006). Informationen gelangen über die Sinne in den modalitätsspezifischen sensorischen Speicher, wo sie für kurze Zeit ohne Verarbeitung gespeichert werden. Treffen Reize gleicher Modalität in zeitlicher Nähe zueinander ein, so interferieren sie. Der sensorische Speicher unterliegt nicht dem willentlichen Einfluss. Er hat eine Pufferfunktion für die weitere Verarbeitung, auch wenn eingetroffene Reize nicht mehr präsent sind. Man unterscheidet eine kurze Phase des sensorischen Behaltens, die etwa 250 Millisekunden anhält und in der nächsten Instanz zur Wahrnehmung eines andauernden Signals führt, sowie eine lange Phase, die bis zu 20 Sekunden andauern und im Langzeitgedächtnis gespeicherte Stimulusmerkmale aktivieren kann. Diese Eigenschaften gelten sowohl für auditiv als auch visuell dargebotene Informationen. Die Kapazität des sensorischen Speichers ist begrenzt und beträgt für visuell dargebotene Informationen durchschnittlich zwischen 7 und 17 Buchstaben oder Zahlen, und zwischen 4,4 und 6,2 Buchstaben oder Zahlen für auditive Reize (vgl. Kluwe, 2006). Innerhalb der bewussten Wahrnehmung lässt sich zwischen *top-down* und *bottom-up* Prozessen unterscheiden, die beide über die Aufmerksamkeit vermittelt werden und Gedächtnisaspekte einbeziehen. Wird im Langzeitgedächtnis gespeichertes Wissen angewandt, um eingehende Information zu interpretieren, spricht man von *top-down processing*, wohingegen die reine Wahrnehmung ohne Vorannahmen und Einbezug von Vorwissen als *bottom-up processing* bezeichnet wird (vgl. Wickens et al, 2004). Die Wahrnehmung kann auch zur direkten Auswahl und Ausführung einer Reaktion führen, wie die direkte Verbindung zwischen Wahrnehmung und Reaktionsauswahl in Abbildung 3-2 (Seite 37) zeigt. Die mensch-

liche Wahrnehmung ist selektiv und hängt von den Faktoren Salienz, Erwartung, Wert der erwarteten Information, sowie der Aufmerksamkeitsleistung ab. „Much of our processing of perceptual information depends on the delicate interplay between top-down processing, signaling what *should be* [Hervorhebung im Original] there, and bottom-up processing, signaling what is there“ (vgl. Wickens et al, 2004). Auf der Seite der *bottom-up* Prozesse steht die Notwendigkeit der Salienz von Stimuli. Liegt eine geringe Salienz von Reizen vor, verringert sich deren Wahrnehmungswahrscheinlichkeit. Die Faktoren Erwartung und Wert stehen auf der Seite des *Top-down Processing*. Im Langzeitgedächtnis gespeichertes Wissen geht in die Wahrnehmung ein und hilft dabei, die Aufmerksamkeit durch Erwartungen hinsichtlich Auftretenswahrscheinlichkeit und Wert der Information zu steuern. Die zentrale Informationsverarbeitung findet hauptsächlich im Arbeitsgedächtnis statt, welches die bewusste kognitive Informationsverarbeitung erledigt, sowie durch das Langzeitgedächtnis bereits erworbenes Wissen einbeziehen und neue Information dort ablegen kann. Auch die zentrale Informationsverarbeitung unterliegt der Aufmerksamkeit und erfordert sowohl diesbezüglich wie auch hinsichtlich der Verarbeitungszeit die größten Ressourcen. Das Arbeitsgedächtnis ist eine temporäre Speicherinstanz mit begrenzter Kapazität pro Zeiteinheit (vgl. Anderson, 2001). Es nimmt eine zentrale Rolle im Modell menschlicher Informationsverarbeitung ein, indem es der Aufmerksamkeitssteuerung und dem Informationsabruf aus dem Langzeitgedächtnis dient. Des Weiteren dient es der Manipulation und Integration von Reizen aus dem Wahrnehmungssystem, der Informationsspeicherung im Langzeitgedächtnis und der Reaktionsauswahl. Diese Aufgaben beanspruchen die begrenzten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses und führen zu mentaler Beanspruchung (vgl. Wickens et al, 2004). Die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses schlägt sich vor allem im Umgang mit neuer Information nieder. Kurzzeitig können, unabhängig von der Art der Daten um die es geht, etwa fünf bis neun Elemente gleichzeitig behalten werden. Müssen Informationen bearbeitet werden, reduziert sich diese Anzahl auf etwa zwei bis vier Elemente (vgl. Sweller, 2005). Als Elemente werden beispielsweise einzelne Buchstaben oder Ziffern bezeichnet. Diese Elemente können einen unterschiedlichen Informationsgehalt aufweisen. Eine Kodierung einzelner Elemente in größere Einheiten, beispielsweise in Form bekannter Wörter oder Zahlenfolgen, erweitert die Arbeitsgedächtniskapazität erheblich (vgl. Solso, 2005). Auf die

Phase der zentralen Informationsverarbeitung folgt die Wahl einer Handlung, wobei man darunter sowohl eine physisch sichtbare als auch eine verbale Aktivität verstehen kann. Im Gegensatz zum multiplen Ressourcenmodell findet in diesem Modell der Einbezug von Feedback und Aufmerksamkeitsprozessen statt. Feedback beschränkt sich dabei nicht ausschließlich auf Informationen, die dem Operateur als solches zugespielt werden, sondern bezeichnet beispielsweise auch von diesem registrierbare Handlungskonsequenzen. Insbesondere die Aufmerksamkeit ist von übergeordneter Bedeutung, da sie als ressourcenbegrenztes Gut gesehen wird, welches den einzelnen Informationsverarbeitungsinstanzen größtenteils bewusst zugeordnet werden kann. Der Begriff der Aufmerksamkeit bezeichnet den Prozess der Auswahl und der aktiven Zuwendung bei der Wahrnehmung, zentralen Informationsverarbeitung und der Reaktion auf Informationen aus der Umwelt (vgl. Goldstein, 2008). Die Wahrnehmungsleistung steht in positivem Zusammenhang mit der Aufmerksamkeitsleistung, die neben dem Denken und Entscheiden auch das Arbeits- und Langzeitgedächtnis sowie die Reaktionsauswahl und Reaktionsausführung beeinflusst. Generell unterscheidet man drei Aufmerksamkeitsformen. Die **selektive Aufmerksamkeit** ist notwendig, um die für eine Aufgabe relevante Information auszuwählen. Sie bezeichnet einen Suchprozess, der in einem großen Reizspektrum die Beachtung und Verarbeitung spezifischer Reize sowie die adäquate Reaktion darauf gewährleistet (vgl. Kluwe, 2006). Die selektive Aufmerksamkeit wird vom mentalen Modell des Benutzers geleitet, was bedeutet, dass Wissen und Erwartungen über die Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten spezifischer Ereignisse eine zentrale Rolle bei der Steuerung der selektiven Aufmerksamkeit spielen. Die **fokussierte Aufmerksamkeit** ist notwendig, um Informationen ohne Ablenkung wahrnehmen zu können. Sie beansprucht kognitive Ressourcen und belastet das Arbeitsgedächtnis. Automatisierte Informationsverarbeitungs- und Reaktionsprozesse finden unter geringem Aufwand an Aufmerksamkeitsressourcen statt und können durch Übung erlernt werden (vgl. Wickens & Hollands, 1999). Die **geteilte Aufmerksamkeit** ist für die parallele Verarbeitung von zwei oder mehreren Informationsquellen notwendig. Sie ist immer dann erforderlich, wenn Informationen gleichzeitig aufgenommen oder parallel verarbeitet und integriert werden müssen. Neben diesen drei Aufmerksamkeitsformen existieren weitere Konstrukte, wie z.B. die Aufrechterhaltung von Aufmerksamkeit. Aufgrund der unterschiedlichen Informationskodierungen

und Wahrnehmungsmodalitäten von 2D und 3D wird innerhalb dieser Arbeit vor allem die geteilte Aufmerksamkeit als eine der zentralen Aspekte der menschlichen Informationsverarbeitung erachtet.

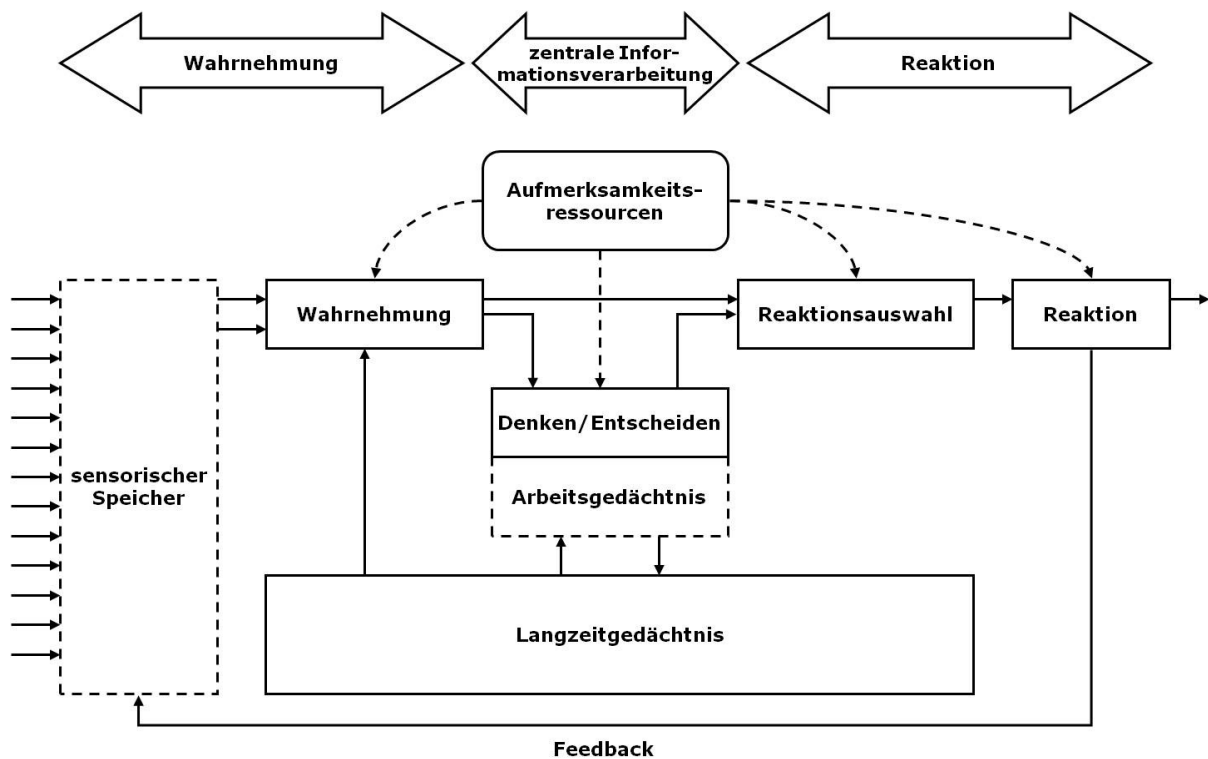


Abbildung 3-2: Modell menschlicher Informationsverarbeitung (vgl. Wickens et al, 2004)

Das nachfolgend dargestellte Gedächtnismodell von Baddeley (2003) beschreibt die Arbeitsgedächtniskomponenten und deren Zusammenspiel, wodurch sich die im multiplen Ressourcenmodell dargestellte Ressourcenteilung innerhalb der zentralen Informationsverarbeitungsphase erklären lässt. Auch Baddeley zufolge bildet das Arbeitsgedächtnis die Schnittstelle zwischen Wahrnehmung, Langzeitgedächtnis und Handlung, und wird unterteilt in die zentrale Exekutive sowie die drei Speichereinheiten visuell-räumlicher Notizblock, phonologische Schleife und episodischer Puffer. Alle drei besitzen eine limitierte Kapazität (siehe Abbildung 3-3, Seite 39, links). Den Kern des Modells bildet die zentrale Exekutive, welcher vor allem metakognitive Funktionen, wie die Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen z.B. zur Bewältigung paralleler Informationsverarbeitungsanforderungen zugeschrieben werden. "Sie hat vor allem die Aufgabe, Denkprozess und Handlungen zu überwachen und gegebenenfalls korrigierend einzugreifen" (Spada, 2006). Sie steuert die drei Speichermodule phonologische Schleife, visuell-räum-

licher Notizblock und episodischer Puffer (vgl. Baddeley, 2003). Baddeley nimmt an, dass sprachliche und visuell-räumliche Informationen getrennt verarbeitet werden. Die phonologische Schleife weist eine begrenzte Speicherkapazität von etwa zwei Sekunden auf und ist für die Verarbeitung sprachlicher Information zuständig. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass verbale Information sowohl bei auditiver wie auch visueller Darbietung durch die phonologische Schleife verarbeitet werden, weshalb o.g. Annahmen bezüglich Interferenzeffekten auf die Erfordernis der parallelen Verarbeitung numerisch-verbaler Höheninformation und auditiv-verbaler Sprechfunkdurchsagen zurückgehen. Die phonologische Schleife besteht aus den zwei Komponenten passiver Speicher und artikulatorischer Kontrollprozess (siehe Abbildung 3-3, Seite 39, rechts). Auditorische Wortrepräsentationen gelangen direkt in den passiven Speicher, wo sie in Form von Lauten gespeichert werden. Visuelle Wortrepräsentationen müssen vorher umkodiert werden um in den passiven phonologischen Speicher zu gelangen. Durch die begrenzte Speicherkapazität der phonologischen Schleife muss die Information über den artikulatorischen Kontrollprozess aufgefrischt werden um nicht zu verblassen. Ohne Auffrischen des sprachlichen Materials durch Wiederholung zerfällt die Gedächtnisspur binnen etwa zwei Sekunden (vgl. Spada, 2006). Ähnlich klingende Buchstaben oder Wörter werden schlechter gespeichert als unähnliche und können schwieriger durch Wiederholung aufgefrischt werden. Der visuell-räumliche Notizblock weist, genau wie die phonologische Schleife, eine begrenzte Kapazität auf und ist für die Bearbeitung und Speicherung visueller und räumlicher Information verantwortlich. Auch er besitzt eine begrenzte Speicherkapazität und speichert und verarbeitet visuelle (was) und räumliche Information (wo) getrennt (vgl. Della Sala et al, 1999). Der episodische Puffer ermöglicht eine Speicherung sowohl phonologischer als auch visueller Information in Form von Episoden. Baddeley (2003) nimmt an, dass der episodische Puffer der Kontrolle der Aufmerksamkeit unterliegt und der bewussten Wahrnehmung zugänglich ist. Er ermöglicht bewusst gesteuerte Prozesse des Zusammenfügens und Abrufens von Informationen. Durch die Schaffung eines Zusammenhangs der Informationen kann die Arbeitsgedächtnisleistung erhöht und der episodische Puffer als eigene Speicherinstanz der zentralen Exekutive betrachtet werden.

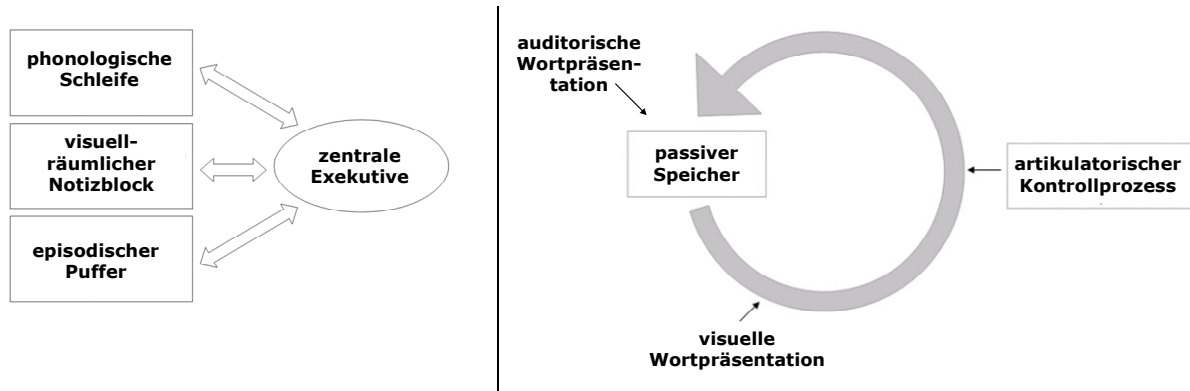


Abbildung 3-3: Schematische Darstellung der Komponenten des Arbeitsspeichermodells (links) von Baddeley (2003) sowie der phonologischen Schleife mit den beiden Subkomponenten passiver phonologischer Speicher und artikulatorischer Kontrollprozess (rechts)

Aufgrund der sowohl visuell-räumlichen als auch visuell- und auditiv-verbalen Natur der dargebotenen Informationen, sowie des häufig vorherrschenden Zeitdrucks, der eine möglichst parallele Informationsverarbeitung erfordert, erscheint jeder einzelne dieser Arbeitsgedächtnisaspekte gleichermaßen relevant für die Fluglotsentätigkeit, und deren optimales Zusammenspiel als grundlegend für eine hohe Leistung. Auch scheint es plausibel, dass die Koordination des Informationsflusses durch die zentrale Exekutive bei Vorliegen einer hohen informatischen und zeitlichen Beanspruchung entsprechend hohe Anforderungen an die geteilten Aufmerksamkeitsressourcen des Operators stellt. Im Rahmen der Fluglotsentätigkeit dürfte dies v.a. durch die Erfordernis sowohl auditiv-verbaler Information aus dem Sprechfunk wie auch visuell-räumlicher Information und visuelle-verbaler Information erforderlich sein. Fraglich ist, ob mit der Verwendung unterschiedlicher Anzeigen andere Anforderungen einhergehen.

Selbstverständlich sind auch weitere Aufgabentypen, wie z.B. die gemeinsame Aufgabenbearbeitung durch mehrere Operateure denkbar, die weitere Informationsverarbeitungsaspekte mit sich bringen. Deren Betrachtung würde den Rahmen dieser Arbeit jedoch sprengen. Auch die für die Zukunft vorhergesagten Systeme, die eine datenlinkbasierte Kommunikation zwischen Lotse und Pilot anstelle des heutigen Sprechfunks ermöglichen, werden an dieser Stelle nicht betrachtet, da sie derzeit nicht operationell eingesetzt werden.

3.1.4 Expertise

Die Berücksichtigung individueller Expertise bei der Erprobung neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen ist deshalb von großer Bedeutung, weil ein Vergleich verschiedener Konzepte nur bei Vorliegen eines vergleichbaren Expertiseniveaus mit allen Varianten sinnvoll ist. Andernfalls muss davon ausgegangen werden, dass etwaige Unterschiede nicht nur auf Konzeptunterschiede zurückgehen, sondern zusätzlich mit dem Expertisegrad der Probanden konfundiert sind. Eine zusammenfassende Darstellung von für die vorliegende Arbeit relevanten Expertiseeffekten soll ein Verständnis der zugrundeliegenden Prozesse schaffen. Expertise schlägt sich u.a. in der Verfügbarkeit geeigneter Wahrnehmungs-, Informationsverarbeitungs- und Entscheidungsmustern zur effektiven und effizienten Aufgabenbewältigung nieder (vgl. Reimann & Rapp, 2008). Diese versetzen Experten in die Lage, wahrgenommene Situationen mit bereits bekannten zu vergleichen. Wurde eine entsprechende Situation bereits zu einem früheren Zeitpunkt vom Probanden bewältigt, und die entsprechende Vorgehensweise zu deren erfolgreichen Bearbeitung als Schema im Langzeitgedächtnis abgelegt, ist eine ungleich effizientere Entscheidungsfindung möglich als im Falle einer neuartigen Situation, die zunächst eine aufwändige Analyse erfordert. Schemata als Form der Wissensrepräsentation im Langzeitgedächtnis haben damit den Vorteil, die eingeschränkten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses effizienter zu nutzen. „Schemata are used to organize and store knowledge, and heavily reduce working memory load, because even a highly complex schema can be dealt with as *one* element when brought into working memory“ (Van Merriënboer & Ayres, 2005). Der häufige Schemagebrauch kann bis hin zur automatisierten Bearbeitung einzelner Arbeitsgedächtnisprozesse führen (vgl. Sweller, 2005). Abbildung 3-4 auf Seite 41 veranschaulicht diesen Zusammenhang anhand zweier Aufgaben, welche dieselbe Ressource benötigen und gleichzeitig auszuführen sind. Die Linien 1, 2 und 3 repräsentieren Varianten von Aufgabe B mit ansteigendem Grad automatisierter Bearbeitbarkeit aufgrund vorhandener Schemata. Bei einem hohen Grad an Automatisierung (Linie 3) kann Aufgabe B effizient ausgeführt werden, auch wenn Aufgabe A sehr schwierig ist. Bei geringerem Automatisierungsgrad von Aufgabe B (Linie 2) nimmt die Effizienz der Aufgabenausführung mit steigendem Schwierigkeitsgrad von Aufgabe A ab. Ist Aufgabe B wenig oder gar nicht automatisiert durchführbar, nimmt ihre Bearbeitungseffizienz analog

zum Schwierigkeitsanstieg von Aufgabe A ab (vgl. Wickens, et al, 2004). Schemata ermöglichen es dem Experten also mehrere Aufgaben bis zu einem gewissen Grad parallel zu bearbeiten. Im Gegensatz zur parallelen Verarbeitung strukturell unterschiedlicher Informationen setzt die Nutzung von Schemata vorangehende Lernprozesse voraus. Die Expertise von Fluglotsen in Verbindung mit 2D ist daher im Rahmen eines Anzeigevergleiches zu berücksichtigen.

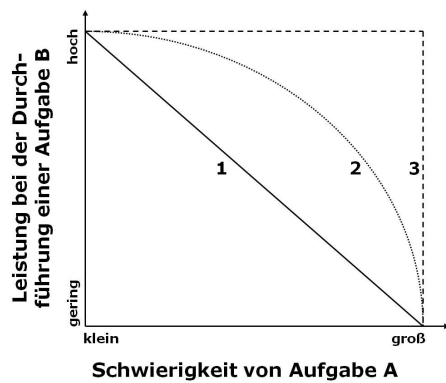


Abbildung 3-4: Schematische Darstellung des Verhältnisses zwischen der Effizienz bei der Durchführung einer Aufgabe B und der Schwierigkeit einer zweiten Aufgabe A, bei gleichzeitiger Ausführung und Beanspruchung derselben Ressource. Linien 1, 2 und 3 zeigen Varianten von Aufgabe B mit ansteigendem Automatisierungsgrad der zu deren Ausführung erforderlichen Arbeitsgedächtnisprozesse (vgl. Wickens et al, 2004)

Ein weiterer relevanter Expertiseaspekt ist die Verfügbarkeit domänenspezifischen Strategiewissens, das, ähnliche wie der Einsatz von Schemata, eine Reduktion der Beanspruchung sowie eine effektivere und effizientere Aufgabenbewältigung erlaubt. Strategien helfen den Experten dabei die erforderlichen Informationselemente zum Treffen einer Entscheidung zügig und ressourcenschonend zu verarbeiten. Dass diese bei Verwendung von 2D Anzeigen angewendet werden können steht außer Frage, da sie in Verbindung mit selbigen entstanden sind. Es liegen zahlreiche Studien vor, die sich mit den kognitiven Prozessen bei der Einschätzung von Separationsabständen auseinandersetzen und Theorien zum strategischen Vorgehen von Fluglotsen aufzeigen. Zu welchen Effekten deren Einsatz bei Verwendung von 3D Anzeigen führt ist unklar, weshalb auch sie im Rahmen von Konzeptvergleichen zu berücksichtigen sind. Wie im Falle von o.g. Expertiseunterschiede können auch Sie zu einer Konfundierung der Effekte durch die Konzeptvariation und des Strategieeinsatzes führen.

3.1.5 Gütekriterien empirischer Untersuchungen

Die Interpretierbarkeit empirischer Studien ist eng verwoben mit den sog. Testgütekriterien. Die wichtigsten Kriterien sind Reliabilität, Validität und Objektivität. Sie werden deshalb häufig auch als Hauptgütekriterien bezeichnet. Wenngleich auf unterschiedlichen Ebenen, beschreiben sie alle Einflussfaktoren auf die Quali-

tät von Untersuchungsergebnissen. Da die Berücksichtigung der Testgütekriterien und die zu ihrer Optimierung zu ergreifenden Maßnahmen von zentraler Bedeutung für jede empirische Arbeit sind, sollen sie im Folgenden zusammenfassend erläutert werden.

Die **Reliabilität** der eingesetzten Instrumente zur Datenerhebung bildet stets die Grundlage einer Untersuchung und "[...] gibt den Anteil der Varianz der wahren Werte an der Varianz der beobachteten Werte an" (Amelang & Zielinski, 2004). Einfacher ausgedrückt bezeichnet sie die Zuverlässigkeit, mit der eine Messung einen Sachverhalt abbildet. Nur wenn davon ausgegangen werden kann, dass das eingesetzte Messinstrument ein hohes Maß an Reliabilität aufweist, ist die Ableitung von Schlussfolgerungen auf Grundlage der erzielten Ergebnisse sinnvoll. Als Messinstrument gelten im Übrigen alle Verfahren zur Datenerhebung, d.h. sowohl technische Gerätschaften, als auch schriftliche und mündliche Befragungsmethoden usw. Zur Reliabilitätsbestimmung existieren zahlreiche Möglichkeiten. Im einfachsten Fall liegen dem eingesetzten Messinstrument bereits entsprechende Angaben bei, was bei gängigen psychologischen Verfahren meist der Fall ist. In anderen Fällen bestehen keine Zweifel an der Zuverlässigkeit des Messinstrumentes, was z.B. bei einem Thermometer zu Temperaturmessung für die meisten alltäglichen Situationen der Fall sein dürfte. Aufwändiger hingegen sind Reliabilitätsbestimmungen bei eigens für eine Untersuchung entwickelten Instrumenten, auf deren Basis sog. Minderungskorrekturen zur Berücksichtigung von Einflüssen durch Messunzuverlässigkeiten möglich sind. Auf die Verfahren zur Reliabilitätsbestimmung und Minderungskorrektur soll an dieser Stelle jedoch nicht eingegangen, und stattdessen auf Lienert & Raatz (2001) verwiesen werden. Wichtiger für die vorliegende Arbeit ist die Darlegung geeigneter Maßnahmen zur Sicherstellung einer möglichst hohen Reliabilität der verwendeten Messinstrumente. Als eine der einfachsten Maßnahmen ist die Testlänge zu nennen. Für diese Arbeit bedeutet dies, dass das Testergebnis umso reliabler ausfällt, je größer die Anzahl der zu beurteilenden Situationen ist. Ermüdungseffekte und Anforderungen an die Zumutbarkeit für die Probanden bilden die Grenzen dieser Maßnahme. Eine weitere Methode zur Reliabilitätssicherung ergibt sich aus dem Linsenmodell von Brunswik (1959). Seinem ökologischen Ansatz zufolge ist darauf zu achten, dass sich die Ausprägungen von Prädiktoren und Kriterien weitestgehend entsprechen. Dies bedeutet, dass eine Messung die dem Anspruch auf

Zuverlässigkeit im Rahmen der Leistungsvorhersage für eine so komplexe und facettenreiche Aufgabe wie die von Fluglotsen gerecht werden soll, auf einer realistischen Anzahl und Variation entsprechender Anwendungsfälle basieren muss.

Die **Objektivität** steht für das Ausmaß, in dem die Testergebnisse unabhängig von der Person des Untersuchungsleiters sind (vgl. Amelang & Zielinski, 2004). Innerhalb dieser wird zwischen der Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität unterschieden. Erstere "[...] bezeichnet den Grad, in dem mehr oder weniger zufällige Variationen im Verhalten des Testleiters und der von ihm hergestellten Durchführungsbedingungen zu Variationen im Verhalten der Testpersonen führen" (ebd.). Sie lässt sich durch eine maximale Standardisierung der Testsituation sowie entsprechende Versuchsleitertrainings für schwer oder nicht standardisierbare Fälle maximieren. Die Auswertungsobjektivität bezeichnet die Eindeutigkeit der Ergebnisse, so dass das gleiche Verhalten unterschiedlicher Testpersonen stets zum selben Ergebnis führt. Methoden, die eine eindeutige Quantifizierung des Verhaltens erlauben, erfüllt dieses Kriterium. Offene Antwortformate oder Beobachtungen durch den Versuchsleiter können dagegen Gefahren für die Auswertungsobjektivität darstellen. Eine Standardisierung z.B. durch Lösungsschlüssel tragen zur Objektivität bei. Die Interpretationsobjektivität bezeichnet die Unabhängigkeit der auf Basis der erzielten Ergebnisse gezogenen Schlüsse von der Person desjenigen, der die Interpretation vornimmt (vgl. ebd.). Sie lässt sich z.B. durch Zuweisungsverfahren erzielter Testwerte zu vorher festgelegten Interpretationsschemata sicherstellen. Ist dies nicht möglich, besteht die Möglichkeit die Interpretationen ausführlich und transparent darzulegen, so dass die Schlussfolgerungen durch Dritte nachvollziehbar sind.

Validität bezeichnet im Allgemeinen die Generalisierbarkeit von Verhalten in der Untersuchungssituation auf das Verhalten außerhalb dieser Situation. Amelang und Zielinski (2004) zufolge handelt es sich dabei um das wichtigste Gütekriterium, da Reliabilität und Objektivität letztlich nur die Voraussetzung für die Validität darstellen. Auch bei der Validität lässt sich zwischen zwei unterschiedlichen Aspekten unterscheiden. Die inhaltliche Validität bezeichnet die Repräsentativität der Testsituation. Sie ist dann besonders hoch, wenn die Testaufgaben und -bedingungen identisch mit Realsituationen sind. Die Sicherstellung einer hohen Inhaltsvalidität wird dann erschwert, wenn z.B. aus Zeit-, Sicherheits- oder Kostengründen keine Herstellung realistischer Bedingungen möglich ist. In solchen

Fällen ist ein möglichst hohes Maß an Ähnlichkeit von Test- und Realsituation z.B. hinsichtlich der Beanspruchungs- und Belastungsstruktur, Testdauer, etc. zu erzeugen. Ist auch dies nicht möglich, werden häufig Konstrukte verwendet, die jedoch die Verfügbarkeit etablierter Theorien und Modelle erfordern, deren Gültigkeit belegt ist. Der zweite Validitätsaspekt ist der Kriteriumsbezug. Er ist immer dann relevant, wenn das untersuchte Merkmal nicht offensichtlich repräsentativ für das Kriterium ist, sondern beispielsweise in seinem ursprünglichen Sinne für etwas anderes steht, ein Zusammenhang aber vermutet wird. In diesem Fall bedarf es eines Korrelationsschlusses, der empirisch zu ermitteln ist und nachweisen muss, dass das Testergebnis des untersuchten Merkmals mit dem Kriterium zusammenhängt.

3.1.6 Störfaktoren & Kontrollvariable

Als Störfaktoren werden all diejenigen Variable bezeichnet, die einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen abhängiger und unabhängiger Variable ausüben, und entweder keiner experimentellen Kontrolle unterzogen werden, z.B. weil sie dem Untersucher nicht bekannt sind, oder keiner Kontrolle unterzogen werden können, z.B. weil sie nicht oder nur schwer messbar sind. Werden sie hingegen gemessen, können sie als Kontrollvariable eingesetzt werden. Dann können zum einen ihr Einfluss auf das Kriterium, und zum anderen der Einfluss zwischen Prädiktoren und Kriterien bei statistischer Kontrolle der Störvariablen bestimmt werden. Damit lässt sich z.B. ermitteln, ob ein Zusammenhang zwischen zweier Variablen auch dann besteht, wenn eine dritte Variable konstant bliebe, obgleich sie im Datensatz tatsächlich variiert (vgl. Bortz & Döring, 2006).

Zu den am leichtesten zu erfassenden Einflussgrößen gehören die **demografischen Daten**. Üblicherweise sind dies das Alter, Geschlecht, Beruf und Berufserfahrung der Probanden, da sie wichtige Informationsquellen zur Bewertung der Stichprobenzusammensetzung liefern, und eine Einschätzung des Expertisegrades und der Repräsentativität der Stichprobe erlaubt. Des Weiteren werden etwaige Einschränkungen der Sehkraft, die Verwendung einer Sehhilfe, sowie das Vorliegen etwaiger Einschränkungen der räumlichen Denkleistung als wichtig für die vorliegende Arbeit erachtet. Aufgrund zu erwartender Zusammenhänge zwischen Expertisegrad und Leistung sind alle spezifischen Erfahrungen der Probanden von Interesse die, in Verbindung mit der eingesetzten Technologie und den

auszuführenden Aufgaben, einen Einfluss auf die Leistung erwarten lassen. Dazu gehören sowohl Erfahrungen mit Virtual Reality Anwendungen und Programmen, die den Testfällen ähnlich sind, wie z.B. Flugsicherungssimulatoren, als auch Computererfahrung im Allgemeinen, da sie einen Einfluss auf die Sicherheit im Umgang mit dem Testsystem und auf mögliche Lerneffekte erwarten lässt (vgl. Zudilova-Seinstra et al 2010; Wingrave et al 2005; Waller, 2000).

Neben den demografischen Daten können auch **psychografische Merkmale** beachtenswerte Einflüsse auf die Leistung der Probanden ausüben. Variable Faktoren wie die zum Testtag vorherrschende geistige und körperliche Verfassung, können durch randomisierte Zuweisungsverfahren kontrolliert werden. Doch auch mittelfristig stabile Einstellungs- und Persönlichkeitseigenschaften, wie z.B. Einstellung gegenüber Technik oder die Genauigkeits- und Geschwindigkeitsorientierung der Probanden, sowie individuelle Fähigkeiten, wie z.B. spezifische kognitive Leistungsaspekte, können Einfluss auf die Ergebnisse nehmen, z.B. indem sie die Bearbeitungsstrategie determinieren und Interaktionseffekte mit vorherrschenden Anreizsystemen erzeugen (vgl. Meyer et al, 2009; Zimmer, 2003). Die für die vorliegende Arbeit relevanten demo- und psychografischen Merkmale werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt und deren Verwendung erläutert. Der Einfluss von Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmalen, wie z.B. die individuelle Geschwindigkeitsorientierung, kann in begrenztem Umfang durch die Gabe geeigneter Instruktionen so beeinflusst werden, dass die Probanden eine vergleichbare Vorgehensweise anstreben (vgl. Bortz & Döring, 2006). Gleichzeitig ist jedoch davon auszugehen, dass die Probanden aufgrund latenter Unterschiede und Gewohnheiten nicht in gleichem Maße dazu in der Lage sind. Die Erhebung von für den jeweiligen Untersuchungsbereich relevanten Maßen hilft dabei, deren Einflüsse zu ermitteln und ggf. durch statistische Maßnahmen zu kontrollieren. Dadurch lassen sich die Effekte, die im Fokus der Untersuchung stehen, sicherer erfassen (vgl. Nachtwei, 2008, FESE-R, Fragebogen zur Erfassung von Strategie und Expertise in Experimenten – Revision). Eines der wichtigsten Einstellungsmerkmale für die vorliegende Arbeit ist das individuelle Entscheidungskriterium, welches der Proband seiner Antwort zu Grunde legt (vgl. Swets, 1996, *Response Bias*). Zahlreiche Befunde weisen z.B. darauf hin, dass Fluglotsen konservativere Entscheidungen treffen als Laien (vgl. Bisseret, 1981). Daneben sind durch einschlägige Befunde auch die folgenden Merkmale relevant

für die vorliegende Arbeit: Da es sich bei stereoskopischen Anzeigen um eine heute vergleichsweise neue Technologie handelt, lässt die sog. Technikorientierung einen Einfluss auf die Leistung der Probanden erwarten (vgl. Waller et al 2001). Probanden mit einem hohen Maß an Technikorientierung zeichnen sich für gewöhnlich dadurch aus, dass sie wenig zögerlich dabei sind, ihnen unbekannte Funktionen selbständig auszuprobieren und dadurch häufig schneller den Umgang mit einem neuen System erlernen. Daneben können sich das individuelle Ausmaß an Hoffnung auf Erfolg bzw. Furcht vor Misserfolg das individuelle Testergebnis auswirken, indem sie das Verhalten des Probanden durch deren Tendenz zur Verfolgung von Erfolg bzw. zur Vermeidung von Misserfolg beeinflussen (vgl. Lang & Fries, 2006, AMS-R, engl. *Achievement Motive Scale – Revised*). Des Weiteren hat sich in der Persönlichkeitspsychologie seit geraumer Zeit eine Gruppe von Eigenschaften als besonders geeignet für die Persönlichkeitsbeschreibung etabliert, die sog. *Big-Five*. Dabei handelt es sich um die fünf Eigenschaften Extraversion, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit, Neurotizismus und Offenheit für Erfahrungen (vgl. Rammstedt & John, 2007, BFI-10, engl. *Big-Five-Inventory* mit 10 Items). Zahlreiche Studien belegen Zusammenhänge zwischen diesen Persönlichkeitsmerkmalen und der Leistung in Human-Factors-Experimenten (vgl. Meyer et al, 2009). Einen weiteren Einflussfaktor bildet das Maß an Handlungskontrolle. Generell beschreibt sie das Ausmaß der Tätigkeitszentrierung einer Person, sprich ihre intrinsische Motivation, sich auf die Ausführung der Aufgabe zu konzentrieren, und diese gut zu erledigen. Das Gegenteil davon wird als Aktionismus oder Zielorientierung bezeichnet. Dieser äußert sich häufig darin, dass der Proband bereits während der Aufgabenausführung an das Ziel denkt und der Aufgabe dadurch weniger Aufmerksamkeit widmet als andere Probanden (vgl. Kuhl, 1983 & 1994, HAKEMP-90, Handlungskontrolle nach Erfolg, Misserfolg und prospektiv).

Die am häufigsten zur Selektion geeigneter Kandidaten eingesetzten **individuellen Fähigkeitsmaße** in den ECAC-Staaten (Abk. für engl. *European Civil Aviation Conference*) beziehen sich auf die Arbeitsgedächtnis- und Aufmerksamkeitsleistung (in 79% bzw. 75% aller in den ECAC-Staaten durchgeführten Verfahren) sowie auf die Wahrnehmungsgeschwindigkeit und -genauigkeit und die räumliche Orientierungsleistung (zu je 71% in den ECAC-Staaten durchgeführten Verfahren, vgl. EATMP, 2001b), und sind daher von besonderem Interesse für die vorlie-

gende Arbeit. Die Wahrnehmungsgeschwindigkeit und -genauigkeit lässt sich durch die Notwendigkeit begründen, die visuell dargebotenen Informationen möglichst schnell aufzufinden, um eine zügige Aufgabenbearbeitung zu gewährleisten. Die individuelle Leistung bei der Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse ist deshalb so wichtig für die Fluglotsentätigkeit, da über eine zügige Objektwahrnehmung hinaus, ein schneller Aufbau eines Verständnisses der räumlichen Anordnungen erforderlich ist (vgl. Gruber, 2008). Bereits 1938 ermittelte Louis Leon Thurstone einen Raumvorstellungsfaktor im Rahmen seines Intelligenzkonzeptes, welcher sich zunächst aus den beiden Subfaktoren räumliche Beziehungen und Veranschaulichung zusammensetzte, und 1950 durch einen dritten Subfaktor erweitert wurde, die räumliche Orientierung. Während erstere die Fähigkeit beschreibt, ein Objekt aus verschiedenen Positionen, also z.B. nach dem es rotiert wurde, wieder zu erkennen, bezieht sich der zweite Subfaktor auf die bildliche Vorstellung eines Objektes, welches eine Veränderung erfährt. Letzterer beschreibt die Fähigkeit, die eigene Person in eine räumliche Beziehung zu weiteren Objekten setzen zu können, also die eigene Perspektive auf eine Szenerie mental verändern zu können (vgl. ebd.). Diese scheint besonders für die Aufgabe des Fluglotsen wichtig, da er stets die räumlichen Beziehungen zwischen den Luftfahrzeugen wahrnehmen und verstehen muss, um deren Trajektorien extrapolieren und etwaige Separationsunterschreitungen antizipieren zu können. Eine mentale Perspektivenänderung könnte ihn bei dieser Aufgabe unterstützen, indem es ihm eine zügige Überprüfung seines mentalen Situationsmodells erlaubt, sollte er sich unsicher über den Fortgang der Luftfahrzeugbewegungen sein, und sich dadurch klären lassen. Erstere hingegen scheint dann interessant, wenn sich die Szenerie rotieren ließe, so dass nicht mehr die mentale Rotation der eigenen Perspektive im Vordergrund steht, sondern das schnelle Zurechtfinden in einer Szenerie, die sich dem Betrachter durch deren Rotation aus einer veränderten Perspektive darbietet. Die Rolle von Leistungsaspekten des Arbeitsgedächtnisses für die erforderlichen Informationsverarbeitungsprozesse wurde weiter oben bereits ausführlich dargelegt. Die Erhebung relevanter demo- und psychografischer Merkmale liefert damit einen wesentlichen Beitrag zur Interpretation der Ergebnisse und Erhöhung der Validität.

3.2 Zielsetzungen

Ausgehend vom aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand und unter Berücksichtigung oben dargelegter Annahmen wird eine umfassende Untersuchung zur Ermittlung von Unterschieden zwischen 2D und stereoskopischen 3D Anzeigen zur Luftverkehrskontrolle durchgeführt. Neben objektiven Leistungsmaßen, die einen direkten Zusammenhang zur Sicherheit und Effektivität aufweisen, wird, aufgrund seines indirekten und über die Beanspruchung der Operateure vermittelten Einflusses auf die Sicherheit und Effizienz, die subjektive Entscheidungssicherheit bei der Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen als zentrales Vergleichskriterium verwendet. Wegen der Verdichtung des Luftverkehrs im Flughafennahbereich und der daraus resultierenden Anforderung, Separationsentscheidungen häufig auf Basis vergleichsweise kurzer Beobachtungszeiten zu treffen, werden ausschließlich Fälle betrachtet, in denen geringe räumliche und zeitliche Distanzen vorherrschen. Diese sind typisch für den Anflugkontrollbereich, der wiederum als besonders kritisch im Sinne der Sicherheit und Kapazität des Flugsicherungssystems gilt. Damit soll eine Grundlage zur diesbezüglichen Potentialeinschätzung von 3D Anzeigen geschaffen, und durch die gezielte Kontrolle von Anzeige-, Aufgaben-, Situations- und Personmerkmalen ein Beitrag zur Beschreibung spezifischer Stärken und Schwächen sowohl von 2D als auch 3D geleistet werden, der darüber hinaus die Beurteilung vorliegender Erklärungsansätze zur bislang uneinheitlichen Befundlage ermöglichen soll. Auf dieser Basis sollen Implikationen durch den Einsatz stereoskopischer Anzeigen für das Training und die Auswahl geeigneter Kandidaten zur Fluglotsenausbildung abgeleitet werden. Im Fokus dieser Arbeit stehen, ihrer Wichtigkeit nach absteigend aufgeführt, die folgenden Aspekte: Es ist der Einfluss der eingesetzten Anzeige sowohl auf die subjektive Entscheidungssicherheit als auch die objektive Leistung bei der Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen zu ermitteln, sowie die Auswirkungen relevanter Aufgabenmerkmale in Verbindung mit den untersuchten Anzeigen zu erforschen. Des Weiteren gilt es zu überprüfen, ob die aufgrund oben vorgestellter Informationsverarbeitungsmodelle zu erwartenden Unterschiede zwischen den Anzeigen unter situativen Bedingungen auftreten, in denen zeitgleich die visuelle Einschätzung von Bewegungsverläufen und die Überwachung einer eingehenden Sprechfunknachricht auszuführen sind. Ferner sind Expertiseeffekte sowie Auswirkungen relevanter Störfaktoren zu erfassen und zu kontrollieren.

3.3 Aufbau & Ablauf

Unter Beachtung von Aspekten der Wahrnehmung und der menschlichen Informationsverarbeitung, sowie Merkmalen der auszuführenden Aufgaben und den technischen Rahmenbedingungen, werden zunächst geeignete stereoskopische 3D Anzeigen entwickelt. Darüber hinaus wird ein 2D Referenzkonzept eingeführt, das die Vergleichsbasis für einen Konzeptvergleich bildet. Auf dieser Grundlage werden aus den im vorangegangenen Kapitel formulierten Zielsetzungen konkrete Fragestellungen abgeleitet. Eine vergleichende experimentelle Untersuchung dient deren Beantwortung. Im Rahmen dessen werden die einzelnen Fragestellungen der Übersicht wegen in einzelnen Subkapiteln und innerhalb derer jeweils in Form mehrerer Analyseschritte bearbeitet. Am Ende eines jeden Analyseschrittes wird eine Zusammenfassung der jeweiligen Befundlage bereitgestellt. Zum Abschluss eines jeden Subkapitels finden eine Interpretation der Befunde unter Einbezug der jeweiligen Fragestellung sowie der im Theorieteil dargelegten Modelle statt. Den Evaluationsteil abschließend wird eine zusammenfassende Beantwortung der Fragestellungen dargelegt. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse im Hinblick auf die im aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand aufgezeigten Befunde sowie die eingangs dargelegte Problemstellung diskutiert. Eine Beurteilung der Vorgehensweise und der eingesetzten Methodik sowie der Zielerreichung dient der Weitergabe diesbezüglicher Erfahrungen. Abschließend wird ein Ausblick gegeben, der sowohl die Grenzen dieser Arbeit, als auch Fragestellungen und Anregungen für zukünftige Arbeiten aufzeigen soll.

4 Entwicklung stereoskopischer 3D Anzeigekonzepte

4.1 Randbedingungen

Wie in Kapitel 2.1.1 gezeigt wurde sind sowohl Aspekte der Aufgabe als auch der verwendeten Schnittstelle und der Situation- und Umgebungsbedingungen, unter denen die Anzeige zum Einsatz kommen soll, in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Des Weiteren gilt es allgemeingültige Aspekte menschlicher Informationsverarbeitung sowie besondere Eigenschaften der Zielgruppe zu berücksichtigen. Diese Aspekte bilden die Randbedingungen des Entwicklungsprozesses die im Folgenden erläutert werden.

Die mit den Anzeigekonzepten **auszuführende Aufgabe**, nämlich die Erkennung von Objektpositionen und Bewegungsverläufen zur Einschätzung deren Separationsverhaltens, beeinflusst die Gestaltung maßgeblich, indem sie den Informationsbedarf definiert. Aufgrund der vorgenommenen Eingrenzung steht ausschließlich die Erkennung aktueller und zukünftiger Luftfahrzeugpositionen unter realitätskonformen Parameterausprägungen im Vordergrund, also unter Randbedingungen, die als hinreichend repräsentativ für das reale Umfeld erachtet werden können, um valide Ergebnisse zu erzielen. Dies erfordert lediglich eine Darbietung der aktuellen lateralen und vertikalen Positionen sowie die entsprechenden Bewegungsrichtungen und -geschwindigkeiten, was zwei positive Effekte nach sich zieht: Zum einen hilft der vergleichsweise geringe Informationsbedarf dabei, die experimentelle Kontrolle für den Anzeigevergleich sicherzustellen, indem vergleichbare Bedingungen hergestellt werden können, und nur die zur Aufgabenausführung benötigten Informationen darzubieten sind.

Zum anderen kommt er dem **Einbezug der Zielgruppeneigenschaften** entgegen. Insbesondere ist dabei der erwartete Einfluss durch Expertiseunterschiede zu kontrollieren. Die Fokussierung auf eine repräsentative Kernaufgabe erlaubt den Einsatz von Laien, die nicht über die zur Ausführung von Flugsicherungsaufgaben notwendigen Kenntnisse verfügen. Somit können sowohl Laien als auch Experten rekrutiert und deren Leistungen gegenübergestellt werden, um Rückschlüsse auf den Einfluss unterschiedlicher Expertisegrade zu ziehen.

Darüber hinaus bilden die in Kapitel 3.1.3 dargelegten Modelle zur allgemeingültigen Beschreibung menschlicher Informationsverarbeitung eine Grundlage für eine entsprechend optimierte Gestaltung. Zu den **Situations- und Umgebungsfaktoren** gehören v.a. der häufig vorherrschende Zeitdruck sowie die Notwendigkeit, neben der Objektpositionserkennung und Trajektorienextrapolation, gleichzeitig auf auditiv-verbale Informationen aus dem Sprechfunk sowie durch direkte verbale Kommunikation mit Kollegen zu achten. Daher wird angestrebt, dem Operateur eine möglichst schnelle Informationsaufnahme und -verarbeitung zu ermöglichen, und zwar insbesondere unter auditiver Zusatzbeanspruchung.

Bei der **eingesetzten Schnittstellentechnologie** wird auf ein sog. Desktop-VR-System zurückgegriffen, das stereoskopische Darstellungen in der Größe handelsüblicher Monitore erlaubt (vgl. Slater & Wilbur, 1997). Vom Einsatz eines in-

tensiven Präsenzerlebens durch Verwendung eines vollimmersiven VR-Systems wird abgesehen, da es, im Gegensatz zur Desktopvariante, eine erhebliche Einschränkung des Kontaktes zum Arbeitsumfeld bedeuten würde, und daher für operationelle Zwecke nicht geeignet scheint. Zum Einsatz kommt ein stereoskopisches Anzeigesystem mit zirkularen Polarisationsfiltern, einer erforderlichen Brille, und einer Auflösung von 1920 x 2160 Bildpunkten (siehe Abbildung 4-1). Die Bildwiederholfrequenz beträgt 120 Hz (60 Hz effektiv für jedes Auge). An der Brille sind Positionsmarker angebracht, die es mittels eines Infrarotverfolgungssystems ermöglichen, die Position der Brille im Raum zu bestimmen und die Anzeige entsprechend auszurichten, so dass etwaige Verdeckungsprobleme durch Kopfbewegungen aufgelöst und der räumliche Tiefeneindruck durch Bewegungsparallaxen unterstützt werden kann (vgl. Goldstein, 2008).



Abbildung 4-1: Infrarot Tracking System (links), Desktop-VR-System (rechts)

4.2 2D Referenzkonzept

Als Grundlage für eine vergleichende Untersuchung dient das 2D Referenzkonzept, das der heute eingesetzten Luftraumdarstellung nachempfunden ist, und auf den für die Untersuchung relevanten Informationsbedarf reduziert wird (siehe Abbildung 4-2, Seite 55, 2D). Es zeigt daher lediglich die Luftfahrzeugsymbole in Form kreisrunder Symbole, welche die laterale Objektposition ausweisen. Des Weiteren verfügen diese Symbole über Flugrichtungsanzeigen, dessen Spitzen die Positionen der Objekte indizieren, die in 10 s eingenommen wird, sowie jeweils vier Vergangenheitssymbole und ein Label mit Geschwindigkeit, numerisch angegebener Flughöhe und, sofern zutreffend, einem Pfeilsymbol neben der Flughöhe als Hinweise auf eine Steig- oder Sinkbewegung. Auf die Darbietung

eines Rufzeichens (*Callsign*) wird bewusst verzichtet, da dies nicht unmittelbar für die Erkennung der aktuellen und Einschätzung der zukünftigen Positionen relevant ist. Außerdem sieht die Evaluationsstudie keine Interaktion mit den dargebotenen Objekten vor (vgl. Kapitel 5.2.1, Szenarienentwicklung), sondern baut ausschließlich auf die Präsentation zweier Objekte auf deren Separationsverhalten einzuschätzen ist. Somit ist keine eindeutige Zuordnung der einzelnen Luftfahrzeuge erforderlich. Zur Schaffung eines perspektivischen Referenzsystems werden Linien in gitterförmiger Anordnung auf der Grundfläche der Szenerie mit einem Abstand von jeweils 1,5 NM angezeigt. Die Größe der Grundfläche entspricht einer typischerweise in einem operationellen System gewählten Dimension von ca. 50 x 50 NM, welche einen vollständigen Überblick über den gesamten Anflugkontrollbereich liefert.

4.3 Stereoskopische 3D Anzeigekonzepte

Bei der Auslegung von 3D Anzeigen bestehen zahlreiche Freiheitsgrade, deren Festlegung einen Einfluss auf die Aufgabenbearbeitung erwarten lassen. Angestrebt wird daher deren gezielte Nutzung zum Zwecke einer bestmöglichen Unterstützung der Operateure. Gestaltungsoptionen bestehen v.a. in der Variation der Ansicht die der Betrachter auf die Szenerie erhält, sowie die theoretisch beliebige Variation von Höhen- und Azimutwinkel.

Die aktuelle Befundlage hilft hierbei v.a. bei der Eingrenzung des **Höhenwinkels**, also des Winkels zwischen der Sichtlinie des Betrachters und der Grundfläche, der Hendrix und Barfield (1997) zufolge zwischen 15° und 45°, bzw. gemäß Barfield (1998) bei etwa 30° liegen sollte, um optimale Ergebnisse bei der Beurteilung relativer Objektpositionen zu erzielen. Des Weiteren wird ein **Blickwinkel** von etwa 30° auf das Szenario gewählt, welcher weitgehend dem natürlichen Blickwinkel entspricht, und das geringst mögliche Maß an Verzerrungen erzeugt. Bei dreidimensionalen Anzeigen ist typischerweise ein **Azimutwinkel** zu wählen, der bei der Referenzanzeige durch die Draufsicht mit nordweisender Ausrichtung festgelegt ist, und dadurch die Anweisung von Flugrichtungen unterstützt. Bei Verwendung einer Vogelperspektive ergibt sich der Azimutwinkel aus der Konstellation der Luftfahrzeugbewegungen, die hauptsächlich durch die vorherrschenden Luftraumstrukturen und Flugrouten beeinflusst werden (vgl. Hopkin, 1995). Aufgrund der Komplexität der Luftraumstruktur im Flughafennahbe-

reich, sowie der zahlreichen An- und Abflugrouten an Flughäfen mit mehreren Start- und Landebahnen, ist daher von einer sehr großen Bandbreite auftretender Ansichtswinkelkonstellationen auszugehen. Dies ist insofern wichtig, da die in Kapitel 2.2.2 dargestellte Befundlage darauf hindeutet, dass die Entscheidungssicherheit und Leistung mit der jeweiligen Azimutwinkelkonstellation zusammenhängt. Eine Erweiterung der 3D Darstellung um eine Funktion zur aktiven **Azimutrotation** durch den Operateur bietet eine freie Wahl des Ansichtswinkels, erzeugt jedoch zusätzliche Anforderungen, die sich nachteilig auf dessen Leistung auswirken kann und dadurch etwaige Vorteile zu kompensieren droht. Neben motorischen Anforderungen ist vor allem der Verlust des nach Norden ausgerichteten Referenzsystems zu erwähnen, und die Anweisung von Flugrichtungen im operationellen Umfeld erschweren dürfte. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Einstellung des zur Beobachtung eines kritischen Ereignisses geeigneten Azimutwinkels dazu führen kann, andere im Luftraum vorliegende Konstellationen in einen ungünstigen Ansichtswinkel zu überführen. Eine Darstellung, die eine optimale Erkennung unter einer möglichst großen Vielfalt an variierenden Bedingungen erlaubt, erscheint daher erstrebenswert. Da eine Abwägung von Vor- und Nachteilen einer Azimutrotation zum derzeitigen Forschungsstand auf analytischer Basis nicht möglich ist, wird der Umsetzung unterschiedlicher Azimutwinkel im Rahmen der Szenariengestaltung Rechnung getragen, um deren Auswirkungen in einer vergleichenden Untersuchung zu bestimmen. Über etwaige Einflüsse durch Winkeleinstellungen hinaus ist der Einsatz von **Hilfsdarstellungen** zu berücksichtigen, um der Theorie mehrfacher Tiefenkriterien entsprechend einen Zugewinn an räumlichem Tiefenverständnis des Operators zu erzielen. Gleichzeitig ist dabei auf die Beibehaltung der Vergleichbarkeit zwischen den 3D Konzepten und der 2D Referenzanzeige zu achten, welche den Einsatz von Hilfsdarstellungen limitiert. Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus der Gefahr, die Anzeige durch Hinzunahme zu vieler Informationselemente zu überladen, und dem Operateur dadurch das Auffinden der relevanten Information zu erschweren (vgl. Rosenholtz et al, 2005, *Clutter*). Daher wird lediglich der Einbezug derjenigen Tiefenschlüssel erwogen, die den stärksten Unterstützungseffekt auf die Einschätzung der Luftfahrzeugseparationen erwarten lassen, ohne dabei die Übersichtlichkeit der Anzeige, das schnelle Auffinden der benötigten Informationen, und die Vergleichbarkeit der Anzeigekonzepte einzuschränken.

Auch dürfen sich durch diese Wahl keine prinzipiellen Einschränkungen für die operationelle Einsetzbarkeit der Anzeigekonzepte ergeben. Als Tiefenschlüssel werden daher, neben der Stereoskopie, die Darbietung einer Zentralperspektive mit einem mittig angeordneten Fluchtpunkt und Gitterlinien auf der Grundfläche des Szenarios ausgewählt. Vom Einsatz einer Parallelperspektive wird abgesehen da diese, im Gegensatz zur gewählten Fluchtpunktperspektive, keine entfernungsabhängige Größenänderung der Objekte beinhaltet, wodurch ein wichtiges Tiefenkriterium wegfallen würde. Des Weiteren wird auf die Darbietung von senkrecht auf die Grundfläche projizierte Lotlinien zurückgegriffen, die von den Luftfahrzeugsymbolen ausgehen, und einen häufig eingesetzten und sehr effektiven Tiefenschlüssel darstellen. Theoretisch sind diese nur bei perspektivischen nicht jedoch bei stereoskopischen Anzeigen notwendig (vgl. Alm & Lif, 2007). Eine Darbietung weiterer Tiefenschlüssel, wie z.B. Schattenwürfe der Objekte oder Höhen- und Tiefenlinien könnte sich negativ auf die Beurteilung absoluter und relativer Objektpositionen auswirken. Bereits die Darstellung von Lotlinien ist als kritisch zu erachten, da bei der Darbietung einer großen Anzahl an Luftfahrzeugen Verdeckungen durch multiple Lotdarstellungen zu erwarten sind.

Aus diesen Überlegungen lassen sich drei verschiedene Anzeigekonzepte herleiten, die jeweils spezifische Vor- und Nachteile mit sich bringen. Auf Basis oben dargelegter Befunde und Überlegungen wird ein stereoskopisches 3D Anzeigekonzept entworfen, das die positiven Forschungsbefunde zu integrieren versucht, und als 3D Vogelperspektive mit Lot bzw. im Folgenden abgekürzt als **3DmL** bezeichnet wird. Durch die Verwendung eines infrarotbasierten Trackingsystems lassen sich keine exakten Betrachtungswinkel angeben. Sie variieren vielmehr mit der Sitzhöhe und Bewegung des Betrachters. Der Höhenwinkel wie auch das Blickfeld betragen im Mittel rund 30°. Die Objekthöhen werden zur besseren Erkennbarkeit mit 5-facher Überhöhung dargeboten, wodurch die darstellbare Luftraumhöhe mit dem verwendeten Desktop-VR-System bei etwa 20.000 ft liegt, und daher einen operationellen Einsatz ermöglicht. Die Überhöhung ist deshalb erforderlich, weil die Wahrnehmbarkeit der vergleichsweise geringen Höhendifferenzen bei einer maßstabsgetreuen Höhenrepräsentation erheblich beeinträchtigt würde. Des Weiteren beinhaltet 3DmL die gleichen Elemente wie **2D**. D.h., es verfügt über ein Referenzgitter mit 1,5 NM Gitterweite auf der Grundfläche, sowie Kreissymbole zur Darstellung von Objektpositionen, identi-

sche Labels wie in 2D, sowie Flugrichtungsanzeigen und Vergangenheitssymbole. Die Grundflächengröße entspricht derer von 2D. Aus den obigen Überlegungen ergeben sich zwei weitere Anzeigekonzepte: Zum einen eine Variante ohne Lotdarstellung, da ein Leistungsvergleich mit der Varianten mit Lot Aufschluss über die Wirkung des stereoskopischen Effektes liefert. Dadurch wird eine Abwägung der Vor- und Nachteile von Lotdarstellungen für den operationellen Einsatz möglich. Dieses Konzept wird im Folgenden als **3DoL** bezeichnet. Zum anderen wird eine Variante mit einem Höhenwinkel von 90° umgesetzt, also einer direkten Draufsicht auf das Luftraumgeschehen. Sie verspricht die Kombination der Vorteile von 2D mit denen der 3D Anzeige, indem die Präzision bei der Einschätzung lateraler Flugbahnen von 2D mit der gleichzeitig analogen Höhendarstellung kombiniert wird. Diese wird als **3Ds** (für 3D senkrecht) bezeichnet. Abbildung 4-2 zeigt die vier Varianten.

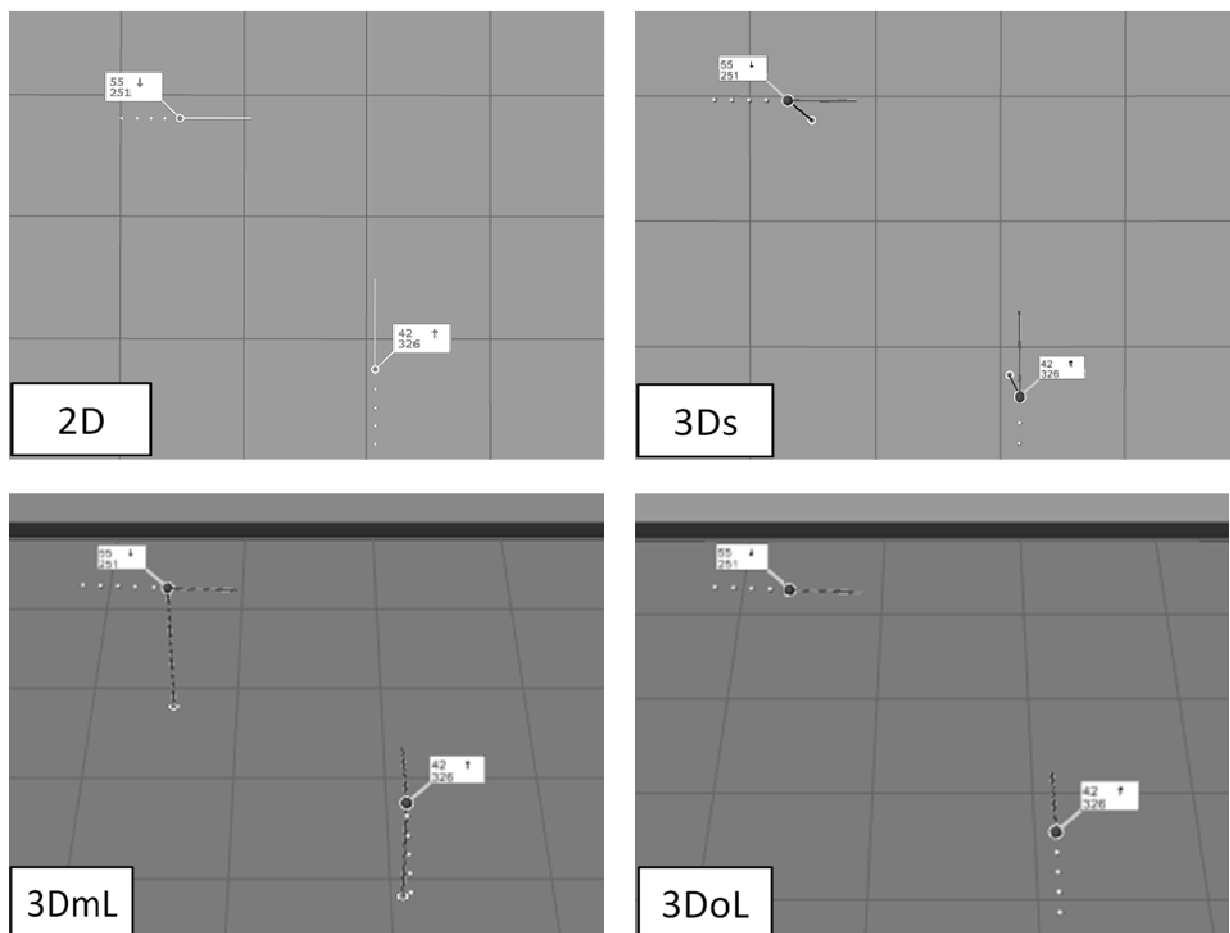


Abbildung 4-2: 2D Referenz und stereoskopische 3D Anzeigekonzepte (vgl. Wittmann et al, 2011)

5 Evaluation

5.1 Fragestellungen

Den in Kapitel 3.2 dargelegten Zielsetzungen folgend, und ausgehend von den Ausführungen der in Kapitel 4.3 diskutierten Anzeigeaspekte, sowie der in Kapitel 3.1 beschriebenen Annahmen & theoretischen Modelle, werden folgende Fragestellungen formuliert:

- a. Üben die für den Anflugkontrollbereich relevanten Aufgabenmerkmale unterschiedliche Effekte auf die Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen mit den untersuchten Anzeigen aus?*
- b. Unterscheiden sich die aufgrund von Situationsmerkmalen in Form verschiedener auditiver Beanspruchungssituationen resultierenden Effekte zwischen den untersuchten Anzeigen?*
- c. Welche Effekte üben die spezifischen Merkmale der untersuchten Anzeigen auf die Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen aus?*
- d. Welche Rolle spielen die individuellen Merkmale Expertise, Strategiewissen, Einstellung, Persönlichkeit und kognitive Leistung im Rahmen des Anzeigevergleiches?*

Der Begriff Effekte bezieht sich auf verschiedene subjektive wie auch objektive Maße. Ihre Definition erfolgt in diesem Kapitel im Rahmen der Operationalisierung (siehe Kapitel 5.2.2, ab Seite 66) und der Beschreibung der Stichprobensammensetzung (siehe Kapitel 5.2.3, ab Seite 79).

Die beiden Fragen (a) und (b) dienen als Grundlage für die Diskussion spezifischer Stärken und Schwächen der untersuchten Anzeigen hinsichtlich der jeweiligen Leistung in Verbindung mit (qualitativ) unterschiedlichen Aufgaben (a) und Situationen (b). Frage (c) dient der Beurteilung von Effekten durch die Verwendung unterschiedlicher Anzeigemerkmale. Die Fragen (a) bis (c) lassen sich der **summativen Evaluation** zuordnen und werden in Abhängigkeit von den erzielten Befunden durch formative Evaluationsmaßnahmen ergänzt (vgl. Wottawa & Thierau, 2003).

Frage (d) bildet die Basis für die Einschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher Anzeigen auf die Anforderungen an die Operateure sowie die Auswahl und

das Training geeigneter Kandidaten. Da die Formulierung konkreter Hypothesen aufgrund des aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstandes nicht möglich ist, und die Beantwortung der Fragestellung daher explorativ erfolgt, lässt sich die Beantwortung von Frage (d) der **formativen Evaluation** zuordnen.

5.2 Methodisches Vorgehen & Ablauf

Zur Beantwortung der Fragestellungen werden im ersten Schritt Szenarien entwickelt. Sie bilden die Evaluationsgrundlage. Anschließend werden die erforderlichen Beurteilungskriterien und Kontrollvariablen operationalisiert, um die Definition und Messbarkeit relevanter Leistungsaspekte sowie der individuellen Merkmale Einstellung, Persönlichkeit und kognitive Leistungsfähigkeit zu klären. Darauf aufbauend wird der gezielte Einsatz von Probanden mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen geplant, sowie ein Konfliktbeurteilungstraining entwickelt, um die Einflüsse von Expertise und Strategiewissen zu ermitteln. Abschließend wird auf die Untersuchungsdurchführung eingegangen. Implizit gehen in jedem dieser Schritte o.g. Gütekriterien empirischer Untersuchungen sowie summative als auch formative Evaluationsaspekte ein, werden der Einfachheit wegen jedoch nicht mehr gesondert erläutert. Während sich die summativen Evaluationsaspekte auf die unmittelbare Beantwortung der Fragestellungen beziehen und der Erfüllung der eingangs beschriebenen Zielsetzungen dienen, bezeichnen formative Evaluationsaspekte alle Maßnahmen, die der Nachvollziehbarkeit des Evaluationsprozesses, der Modifikation oder Verbesserung der einzelnen Evaluationsmaßnahmen, sowie der Absicherung der zugrundegelegten Prämissen dienen (vgl. Bortz & Döring, 2006). Die formativen Aspekte bereichern damit die auf den summativen Ergebnissen basierenden Befunde um zusätzliche Erkenntnisse. Diese dienen beispielsweise der Generierung neuer Fragestellungen sowie der Beurteilung der eingesetzten Verfahren. Des Weiteren unterstützen sie die Ergebnisinterpretation. Praktisch geschieht dies durch die detaillierte Darstellung der zugrundeliegenden Überlegungen sowie der Vorgehensweisen und Ergebnisse jedes Analyseschrittes, durch die Validierung der zugrundegelegten Annahmen durch Expertenmeinungen, sowie über die sich unmittelbar aus den Zielsetzungen ergebenden Analyseschritte zur Beantwortung der festgelegten Fragestellungen hinausgehende explorative Betrachtungen.

5.2.1 Entwicklung repräsentativer Szenarien

Die Entwicklung repräsentativer Szenarien bildet die zentrale Grundlage des Anzeigevergleichs, da ihre Ausgestaltung sowohl einen unmittelbaren Einfluss auf die experimentelle Kontrollierbarkeit und damit die Ableitung von Schlussfolgerungen zur Beantwortung der o.g. Fragestellungen ausübt, als auch die Validität der Untersuchung bestimmt. Die Szenarien müssen also zahlreichen Anforderungen gerecht werden. Zum einen ist darauf zu achten, dass sie wirklichkeitsgetreue Fälle darstellen, also Situationen zeigen, die im Anflugkontrollbereich tatsächlich vorkommen. Dabei muss eine gezielte Variation jedes einzelnen Parameters bei gleichzeitiger Konstanzhaltung aller anderen Variablen möglich sein, so dass sich die Einflüsse der einzelnen Aspekte auch sicher auf deren Variation zurückführen lassen. Zum anderen müssen die Szenarien realistische Anforderungen an die Probanden stellen, d.h. dass die erfolgreiche Aufgabenbearbeitung ein hohes Maß an Situationsbewusstsein voraussetzen und mental beanspruchend sein soll.

Da die meisten heutzutage eingesetzten Systeme über automatische Kollisionswarneinrichtungen verfügen, orientiert sich der Szenarienablauf an diesen Gegebenheiten. So verfügen die meisten Passagierflugzeuge über das sog. TCAS (engl. für *Traffic Alert and Collision Avoidance System*). Dieses System liefert zwei verschiedene Arten von Warnungen. Unterschieden wird zwischen dem Hinweis auf andere Flugzeuge (TA, engl. für *Traffic Advisory*), der ca. 20 bis 48 Sekunden vor einer zu erwartenden Kollision gegeben wird, und dem Ausweichmanöver (RA, engl. für *Resolution Advisory*), der ca. 15 bis 35 Sekunden vor o.g. Unterschreitung erfolgt (vgl. Honeywell, 1999). Die Angaben über die verbleibende Zeit bis zu einer Kollision ist als sehr kurz anzusehen, berücksichtigt man das Risiko einer solchen Situation sowie die Komplexität des erforderlichen Entscheidungsprozesses. Eine frühere Warnung bietet keine Lösung für diese Problematik, da die Anzahl der Falschalarme erheblich ansteigt, wodurch die Glaubwürdigkeit des Systems leidet (vgl. Vernaleken, 2011). Die Szenarienanfangszeiten und Spieldauern orientieren sich an diesen Werten, weshalb für alle Szenarien eine Startzeit festgelegt wird, die 45 s vor dem Erreichen des Punktes mit der größten Annäherung der beteiligten Luftfahrzeuge beginnt, und für eine Dauer von genau 10 s dargeboten wird, also bis 35 s vor dem Erreichen des o.g. Annäherungspunktes. Diese Darbietungsdauer führt dazu, dass die Aufgaben-

schwierigkeit weder so groß ist, dass sich die Urteilsgüte der Ratewahrscheinlichkeit annähert (Bodeneffekt), noch so gering ist, dass sich alle Szenarien sehr leicht beurteilen lassen (Deckeneffekt), was genauso wie erstere dazu führen würde, dass sich die Urteilsleistung zwischen den Probanden und den Anzeigekonzepten nicht unterscheiden ließe. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Darbietungszeit für das Treffen einer Entscheidung zwar ausreicht, gleichzeitig aber ein hohes Maß an Zeitdruck erzeugt. Zur Standardisierung der Betrachtungsdauer werden die Szenarien stets unmittelbar nach Ablauf der 10 sekundigen Darbietungszeit ausgeblendet. Die Szenariendarbietung selbst erfolgt (im Gegensatz zur heutzutage in der Flugsicherung vorherrschenden Darbietung mit einer Auffrischungsrate von rund 3 s) kontinuierlich. Lee & Klippel (2005) weisen darauf hin, dass eine kontinuierliche Szenariendarbietung multiple Vorteile mit sich bringt, wie z.B. eine verbesserte Erkennbarkeit von Flugrichtungs- und Geschwindigkeitsänderungen sowie eine erleichterte mentale Extrapolation der Flugpfade, was den Autoren zufolge besonders im Anflugkontrollbereich hilfreich sei, und durch die Einführung neuer Positionsinformationstechnologien wie ADS-B (engl. *Automatic Dependent Surveillance Broadcast*, vgl. ebd.) in naher Zukunft möglich sei.

Zur detaillierten Ausgestaltung der Szenarien müssen Parameter festgelegt werden, deren Variationen realistisch für den geplanten Vergleich sind, um Rückschlüsse auf die Auswirkungen unterschiedlicher Ausprägungen ermitteln zu können. Die gezielte Parametervariation erlaubt eine detaillierte Analyse spezifischer Stärken und Schwächen der einzelnen Anzeigen sowie der Einflüsse der Parametervariationen auf die Leistung. Des Weiteren unterstützt die Variation die Repräsentativität indem eine Vielzahl realistischer Anwendungsfälle auftritt. Nicht zuletzt müssen die Szenarien v.a. bezüglich der Anzahl, die sich aus den variierten Parametern und der Variationsstufen ergibt, sowie ihrer Darbietungsdauer versuchsökonomischen Bedingungen genügen. Versuchsdauer und Szenarienzahl müssen für die Versuchspersonen tragbar, und für den Versuchsleiter und die Datenauswertung kontrollierbar sein. Bei der Wahl der relevanten Szenarienparameter wird auf vorliegende Untersuchungen von Forschungsgruppen zurückgegriffen die den Konvergenzwinkel, die Annäherungsdistanz, sowie die vertikale Luftfahrzeugbewegung als zentrale Einflussfaktoren auf die Aufgabenschwierigkeit ermittelten. Der **Konvergenzwinkel** bezeichnet dabei den Winkel auf der

horizontalen Ebene, mit dem sich zwei Luftfahrzeuge einander annähern. Je näher dieser dem rechten Winkel ist, desto schwieriger fällt es den Operateuren, das Konfliktpotential abzuschätzen. Umgekehrt zeigt sich, dass eine Einschätzung des Konfliktpotentials umso besser gelingt, je näher der Konvergenzwinkel an 0° (die Luftfahrzeuge bewegen sich hintereinander her) oder 180° (die Luftfahrzeuge bewegen sich direkt aufeinander zu) liegt (vgl. Xu & Rantanen, 2003). Für den Anflugkontrollbereich sind alle drei Ausprägungen gleichermaßen relevant, da sich dort die Flugbahnen der Luftfahrzeuge in alle Richtungen kreuzen können, und sowohl ankommender als auch abgehender Luftverkehr vorherrscht. Daher wird dieser Faktor dreistufig mit den Stufen 0° , 90° und 180° realisiert. Zur besseren Variation der Szenarien und zur Vermeidung einer Wiedererkennung der Szenarien durch die Probanden, werden die Konvergenzwinkelbedingungen um 4° in positive und negative Richtung variiert. Die **Annäherungsdistanz** nimmt insofern Einfluss auf die Aufgabenschwierigkeit, als dass es dem Operateur umso schwieriger fällt zu entscheiden, ob sich zwei Luftfahrzeuge verpassen, je geringer die Distanz am Punkt der größten Annäherung ist (vgl. Averty et al, 2008). Für den vorliegenden Anwendungsfall ist diese Variable deshalb von besonderem Interesse, da im Flughafennahbereich eine hohe Luftverkehrsdichte herrscht und zum Zwecke der zügigen Abfertigung ankommender und abgehender Luftfahrzeuge enge Staffelungsabstände vorherrschen können. Zur Vereinfachung beträgt die Annäherungsdistanz in **Konfliktfällen** 0 ft, obgleich in Wirklichkeit bereits bei Unterschreitung einer festgelegten horizontalen bzw. vertikalen Distanz von einem Konflikt gesprochen wird. Für die Fälle, in denen sich die Luftfahrzeuge verfehlen, erscheint die Aufteilung in die vertikale und horizontale Dimension sinnvoll, da das Vorliegen eines Konfliktes stets eine Überschneidung der Trajektorien in beiden räumlichen Dimensionen sowie das zeitgleiche Erreichen dieses Schnittpunktes voraussetzt. Bezüglich der Annäherungsdistanz werden sowohl für die vertikalen als auch horizontalen **Separationsfälle** Abstände von 1.000 ft und 2.000 ft gewählt, welche sich an den für den Anflugkontrollbereich üblicherweise vorgegebenen und von den Lotsen einzuhaltenden Mindestseparationsabständen im Anflugkontrollbereich orientieren. Diese betragen meist 3 NM auf der horizontalen Ebene und 1.000 ft in der vertikalen Richtung (vgl. ICAO, 2001). Die für die Szenarien gewählten Distanzen befinden sich damit etwa in diesem Rahmen. Die **vertikale Bewegung** eines oder

mehrerer Luftfahrzeuge spielt deshalb eine maßgebliche Rolle für die Aufgabenschwierigkeit, da das Vorliegen vertikaler Luftfahrzeugbewegungen eine Einschätzung des zukünftigen Bewegungsverlaufes zusätzlich erschwert, und dies umso mehr, je größer die Anzahl sich vertikal bewegendes Luftfahrzeuge innerhalb des Zuständigkeitsbereiches ist (vgl. Mogford & Nunes, 2003). Die Szenarien beinhalten Fälle, in denen sich keines, eines oder beide Luftfahrzeuge vertikal bewegen. Im Falle eines sich vertikal bewegendes Luftfahrzeuges befindet sich dieses stets im Sinkflug, wohingegen im Falle zweier sich vertikal bewegendes Luftfahrzeuge zwei verschiedene Bedingungen betrachtet werden. In der ersten Bedingungen steigt ein Luftfahrzeug während das andere sinkt, was im Anflugkontrollbereich des Öfteren zwischen einem an- und einem abfliegenden Luftfahrzeug auftritt. Im der zweiten Bedingung sinken beide Luftfahrzeuge, was dem Umstand Rechnung trägt, dass die meisten Luftfahrzeuge im Anflugkontrollbereich zum Zwecke des Landeanfluges ihre Flughöhe reduzieren müssen. Die Steig- bzw. Sinkraten liegen stets bei realistischen Werten von 1500 ft/min bzw. 500 ft/min.

Aus versuchsökonomischen Gründen werden Rahmenbedingungen für die Szenariengestaltung definiert, welche eine nachvollziehbare Einschränkung deren Vielfalt ermöglichen. Zum einen bestehen die Konfliktszenarien stets aus zwei Luftfahrzeugen, da dadurch sichergestellt werden kann, dass die Versuchsteilnehmer ausschließlich die relevanten Objekte betrachten. Des Weiteren werden Triviale Fälle vermieden, indem sich die beiden Luftfahrzeuge einander stets räumlich annähern, während Szenarien, in denen sich die Luftfahrzeuge offensichtlich voneinander entfernen, nicht dargeboten werden. Damit dies für alle Konvergenzwinkel sichergestellt werden kann, unterscheiden sich die Geschwindigkeiten der beiden Luftfahrzeuge stets im Verhältnis 1:1.3, wobei sich im 0° Fall das relativ zur Flugrichtung hintere Objekt schneller bewegt. Die Geschwindigkeiten orientieren sich dabei an den für den Anflugkontrollbereich typischen Werten und liegen beim langsameren Objekt zwischen 240 kt und 260 kt. Die Werte des schnelleren Luftfahrzeuges ergeben sich aus dem o.g. Verhältnis und liegen somit in einem Bereich zwischen 312 kt und 338 kt. Aus Gründen der Realitätsnähe wird darauf geachtet, dass im Falle vertikaler Luftfahrzeugbewegungen stets das langsamere sinkt, bzw. das schnellere steigt. Lediglich im Rahmen einiger Spezialfälle, die weiter unten genauer beschrieben werden, wird von dieser

Regelung abgewichen. Zur Vermeidung von Lerneffekten werden die Geschwindigkeitswerte innerhalb der oben genannten Bereiche zufällig zu den Bedingungen zugewiesen. Im Falle einer tatsächlichen Konfliktsituation liegt ein Trajektorienschnittpunkt vor, der von beiden Luftfahrzeugen zeitgleich erreicht wird. Zur Erzeugung von nicht konflikthaltigen Szenarien wird stets eine dieser beiden Dimensionen variiert, während die andere dem Konfliktfall entspricht.

Neben den o.g. Variablen Konvergenzwinkel, Annäherungsdistanz und vertikale Luftfahrzeugbewegung stellt der **Azimet- oder Ansichtswinkel** eine weitere Variable dar, die sich durch die Freiheitsgrade im Rahmen der Konzeptgestaltung ergibt. Abbildung 5-1 zeigt eine schematische Darstellung der Szenerie aus der Draufsicht, die als Grundlage zur Erläuterung der Bewegungsverläufe dient.

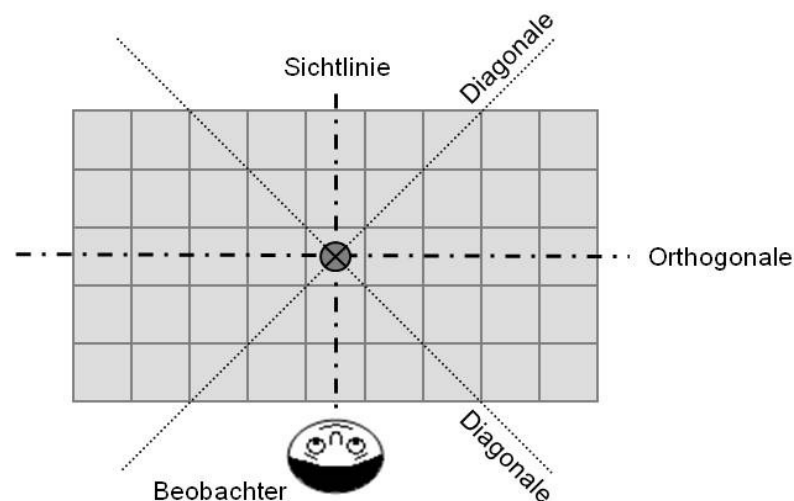


Abbildung 5-1: Schematische Darstellung der Szenerie aus der Draufsicht auf die Grundfläche mit der Referenzgitterdarstellung. Eingezeichnet sind die beiden Diagonalen, die Sichtlinie des Beobachters, sowie die Orthogonale zur Sichtlinie

Der Ansichtswinkel nimmt im Rahmen dieser Arbeit keinen derart zentralen Stellenwert ein, wie dies bei den o.g. Variablen Konvergenzwinkel, Annäherungsdistanz und vertikale Bewegung der Fall ist, und wird daher nicht in Form einer vollständigen Ausbalancierung in den Versuchsplan aufgenommen, da versuchsökonomische Gründe dagegen sprechen. Daher wird der Ansichtswinkel in zwei unterschiedlichen Ausprägungen innerhalb einer jeden Bedingung dargeboten, also eine sog. Schachtelung vorgenommen. Dabei wird ein jedes Szenario der Hälfte der Probanden so dargeboten, dass sich die beiden Objekte parallel bzw. ortho-

gonal zur Sichtlinie des Betrachters bewegen, und der andern Hälfte so, dass die Luftfahrzeugbewegungen diagonal verlaufen, siehe Abbildung 5-2.

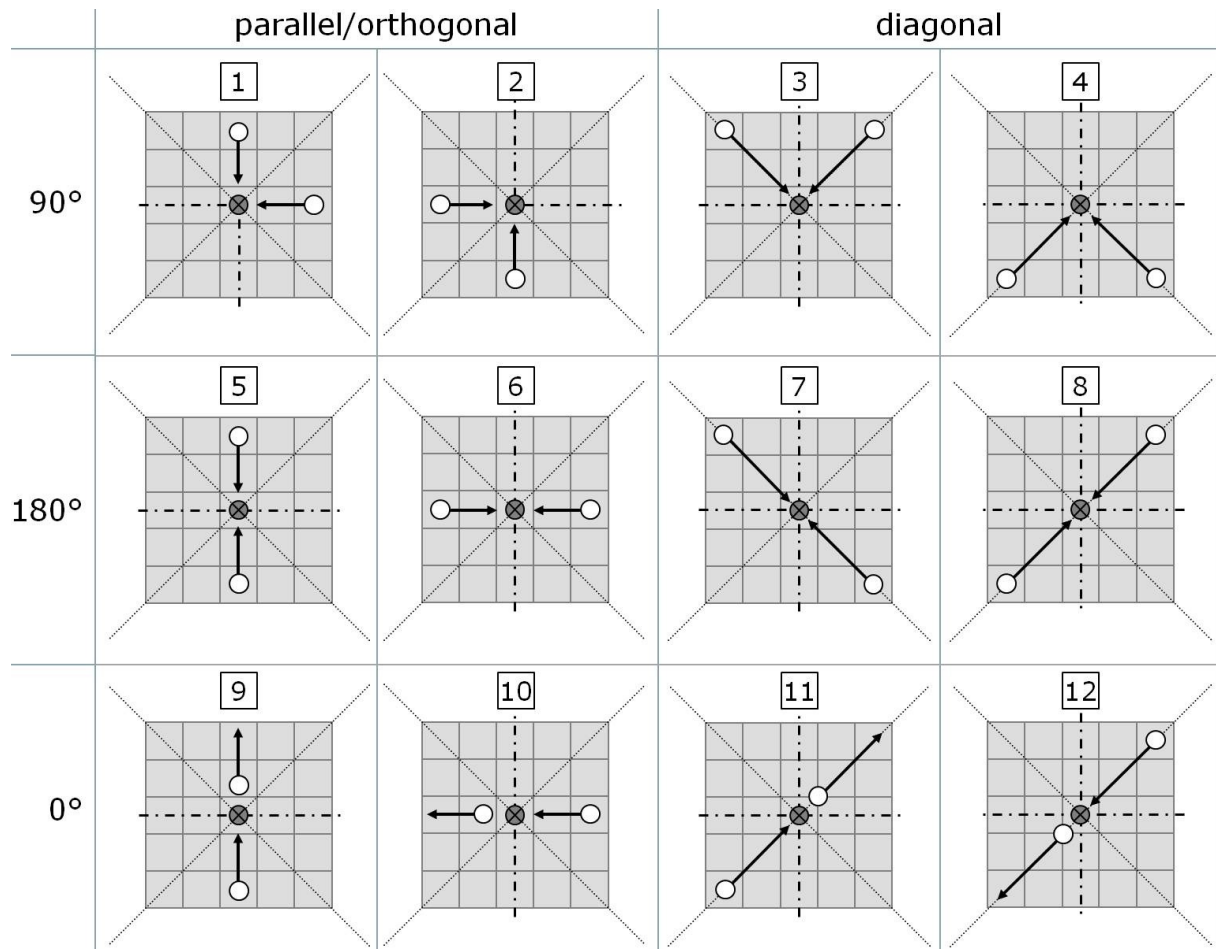


Abbildung 5-2: Konvergenz- und Ansichtswinkelkombinationen aus der Draufsicht. Nr. 1 bis 4 sind 90° Konvergenzbedingungen. Nr. 1 und 2 beinhalten orthogonale bzw. parallele und Nr. 3 und 4 diagonale Objektbewegungen. Nr. 5 bis 8 zeigen 180° und Nr. 9 bis 12 zeigen 0° Konvergenzbedingungen. Nr. 5 und 9 zeigen parallele, Nr. 6 und 10 orthogonale und Nr. 7, 8, 11 und 12 diagonale Objektbewegungsverläufe. Die Position des Beobachters entspricht stets derer aus Abbildung 5-1

Bei der Verteilung der Ansichtswinkel auf die Szenarien eines Probanden wird darauf geachtet, dass dieser stets den gleichen Ansichtswinkel für die Szenarien erhält, deren Leistung einem direkten Vergleich unterzogen werden sollen. Er bleibt also gleich, unabhängig von der Variation des Anzeigeconzeptes, der Distanz sowie der Dimension, variiert jedoch zwischen den unterschiedlichen Konvergenzwinkelbedingungen und den vertikalen Bewegungsbedingungen. Dies bedeutet, dass Leistungsvergleiche zwischen unterschiedlichen Konvergenzwinkelbedingungen und den Abstufungen der vertikalen Bewegungen innerhalb eines Probanden nicht vollständig möglich sind, da sich zwischen diesen Bedingungen der An-

sichtswinkel unterscheiden kann. Die Variable Konvergenzwinkel und vertikale Bewegung sind somit mit dem Ansichtswinkel konfundiert. Die Leistungswerte eines Probanden können hingegen ohne weiteres zwischen den Stufen der Variable Anzeigekonzept, Distanz und Dimension verglichen werden, da er innerhalb dieser stets die gleiche Ansichtswinkelbedingung erhält. Nichtsdestotrotz kann der Einfluss der Variable Konvergenzwinkel, vertikale Bewegung und Ansichtswinkel ermittelt werden, indem die Leistungen zwischen den Probanden in den jeweiligen Bedingungen verglichen werden. Diese Schachtelung hat den Vorteil, die Szenarienanzahl im Vergleich zu einer vollständigen Balancierung reduzieren zu können, und gleichzeitig den Nachteil, dass die Ergebnisse entsprechend getrennt analysieren und interpretieren werden müssen. Etwaige Interaktionseffekte zwischen Variablen, die nicht innerhalb eines vollständig ausbalancierten Versuchsdesigns untersucht wurden, lassen sich nicht empirisch bestimmen. Diese Vorgehensweise erlaubt jedoch die Ableitung von Aussagen bezüglich der zu erwartenden Effekte auf analytischer Basis, und liefert Hinweise über die Auswirkung verschiedener Variationen auf Basis vorliegender Tendenzen, ersetzt aber keine statistische Absicherung.

Aufgrund der vollständigen Kombination der Variablenstufen des Konvergenzwinkels (3; 0° / 90° / 180°), der Annäherungsdistanz (2; 1.000 ft / 2.000 ft), sowie der vertikalen Luftfahrzeugbewegung (4; keine Vertikalbewegung / eines sinkt / beide sinken / eines steigt, eines sinkt) und der Dimension, in der sich die beiden Luftfahrzeuge verfehlen können (2; horizontal / vertikal), ergeben sich insgesamt 48 ($3 \times 2 \times 4 \times 2$) verschiedene Separationsszenarien. Die vertikale Separation führt stets zu gleichen Objekthöhen am Punkt der größten Annäherung bei gleichzeitiger Separation um den definierten Wert auf der lateralen Ebene. Im Gegensatz dazu führt die horizontale Separation stets zu einer vertikalen Separation am Punkt der größten Annäherung um den definierten Wert, während sich die beiden Objekte die gleiche Position auf lateraler Ebene teilen. Zur Herstellung der gleichen Auftretenswahrscheinlichkeit von Separations- und Konfliktfällen werden 48 Konfliktfälle hinzugenommen, indem die Annäherungsdistanzen der Separationsfälle auf 0 ft gesetzt werden, wodurch sich theoretisch zunächst 96 Szenarien ergeben. Zur Untersuchung der Auswirkung einer weiteren Vergrößerung der Annäherungsdistanz auf 3.000 ft werden sechs weitere Szenarien generiert. Diese sind drei Separationsfälle mit unterschiedlichen Vertikalbeweg-

ungen, nämlich in denen keine Vertikalbewegung stattfindet, eines sinkt, und eines sinkt und das andere steigt, sowie deren entsprechende Konfliktfälle. Aufgrund deren Relevanz werden zwei weitere vertikale Bewegungssituationen hinzugenommen, nämlich die, in der eines der beiden steigt, bzw. beide Objekte steigen. Um die Szenarienzahl nicht weiter zu vergrößern, werden diese lediglich in Form von Konflikten umgesetzt, indem ein Viertel (12 von 48) der bereits vorhandenen Konfliktszenarien dazu verwendet werden, nämlich jeweils zwei 0° , 90° und 180° Konvergenzwinkelfälle. Dadurch ergibt sich eine Gesamtszenarienzahl von 102. Zu deren Reduktion mit dem Ziel die Testdauer zu verkürzen, wird auf die Darbietung horizontaler Separationsfälle bei einem Konvergenzwinkel von 180° verzichtet, da sich diese Fälle im Rahmen von Probeläufen als äußerst leicht zu identifizieren herausstellten. Dadurch reduziert sich die Gesamtszenarienzahl um 16 auf 86 Szenarien, da zwei horizontale Separationsdistanzen in allen vier vertikalen Bewegungsbedingungen, sowie die entsprechenden Konfliktfälle wegfallen. Zur Ermittlung der Effekte bei Hinzunahme einer auditiven Zusatzbeanspruchung werden ausschließlich 90° Konvergenzwinkelfälle aus den oben beschriebenen 86 Szenarien herangezogen, also insgesamt 32 Szenarien, da im Rahmen dessen auf die Verwendung der einfacheren 3.000 ft Sonderfälle verzichtet wird. Die 90° Bedingung bietet sich deshalb für die Untersuchung der Auswirkungen der Zusatzbeanspruchung an, da sie eine große Aufgabenschwierigkeit mit sich bringt, wodurch sich bei gleichzeitiger auditorischer Beanspruchung eine besonders schwierige Beurteilungssituation erzeugen lässt (vgl. Averty, 2005). Somit erhält jeder Probanden mit jedem Anzeigekonzept insgesamt 118 Szenarien. Tabelle 5-1 liefert einen zusammenfassenden Überblick.

Tabelle 5-1: Übersicht über die Szenarienparameter und deren Umsetzung in der jeweiligen Bedingung (• = vorhanden ○ = nicht vorhanden)

	Konflikt						vertikale Separation						horizontale Separation					
vertikale Bewegung	⇐	↓	⇓	⇑	⇕	↑	⇐	↓	⇓	⇑	⇕	↑	⇐	↓	⇓	⇑	⇕	↑
0°	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○	•	•	•	•	○	○
90°	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○	•	•	•	•	○	○
180°	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○	○	○	○	○	○	○

5.2.2 Operationalisierung von Beurteilungskriterien

Zur Leistungsermittlung wird im Anschluss an die Darbietung eines jeden Szenarios eine Einschätzung des Szenarienausgangs erfasst. Dazu wird eine Eingabemaske eingeblendet, siehe Abbildung 5-4, Seite 69. Die erste Frage bezieht sich auf die zukünftige Separation der beiden Objekte und erfordert vom Probanden eine Einschätzung, für wie wahrscheinlich er die Entstehung eines Konfliktes hält. Durch die Verwendung einer sechsstufigen Ratingskala und sog. *Radio Buttons* lässt sich stets nur eine der sechs verbalen Marken: "keinesfalls", "wahrscheinlich nicht", "eher nicht", "eher ja", "wahrscheinlich ja", und "ganz sicher ja" auswählen, wodurch eine eindeutige Zuordnung sichergestellt ist. Eine Änderung der Auswahl ist innerhalb dieses Bewertungsschrittes möglich. Durch die Zuordnung eines numerischen Wertes zur jeweiligen Einschätzung des Szenarienausgangs sowie deren Vergleich mit dem tatsächlichen Szenarienausgang wird eine Datengrundlage auf Intervallskalenniveau geschaffen (vgl. Bortz & Döring, 2006). Tabelle 5-2 liefert eine Übersicht über die Transformationsregeln. Entsprechende Analyseverfahren und Ergebnisinterpretationen ermöglichen die Bearbeitung der auf Seite 56 dargelegten Fragestellungen. Diese werden im Folgenden erläutert.

Tabelle 5-2: Transformation der verbalen Marken in numerische Werte

Konflikteinschätzung	Wert im Konfliktfall	Wert im Separationsfall
ganz sicher nicht	0,0	1,0
wahrscheinlich nicht	0,2	0,8
eher nicht	0,4	0,6
eher ja	0,6	0,4
wahrscheinlich ja	0,8	0,2
ganz sicher ja	1,0	0,0

Zur Bestimmung der **Entscheidungssicherheit** sind die Werte wie folgt zu interpretieren: Die Ausprägungen 1,0 und 0,0 stehen jeweils für eine höchstmögliche Entscheidungssicherheit, während Werte dazwischen unterschiedliche Ausprägungen von Unsicherheit indizieren. Diese ist umso größer, je näher das Ergebnis bei 0,5 liegt. Dass es sich dabei um ein subjektives Maß handelt wird u.a. dadurch deutlich, dass eine ganz sichere Einschätzung falsch sein kann. Gemäß den Ausführungen in Kapitel 3.1.1 auf Seite 31 und dem auf Seite 10 vorgestellten Modell nach Bissoret (1981) bestimmt jedoch die subjektive Entscheidungs-

sicherheit der Operateure maßgeblich deren Verhalten, und beeinflusst das Ausmaß der für die Entscheidungsfindung erforderlichen zeitlichen und mentalen Ressourcen. Näher an der Skalenmitte befindliche Werte weisen damit auf einen höheren Ressourcenaufwand hin als näher an den Skalenenden liegende Werte.

Gleichzeitig lassen sich die Werte als Maß für die **Urteilsleistung** interpretieren. Der Wert 0 entspricht dabei der geringsten (0%), der Wert 1 der höchsten Urteilsleistung (100%), zu deren Erreichung alle betrachteten Szenarien falsch, bzw. korrekt, und mit der größtmöglichen Entscheidungssicherheit zu klassifizieren sind. Aufgrund der häufigkeitsbezogenen Gleichverteilung von Konflikt- und Separationsfällen entspricht der Wert 0,5 dem Rate-Niveau.

Ausgehend von den Ausführungen in Kapitel 3.1.1 lassen sich die Werte ebenso zur Beurteilung des Ausmaßes an **Situationsbewusstsein** verwenden, da ein positiver Zusammenhang zwischen der Entscheidungssicherheit und den verfügbaren Ressourcen angenommen werden kann, die zur korrekten Wahrnehmung der dargestellten Informationen, zum Verständnis deren Bedeutung, sowie zur Bildung einer akkuraten Vorausschau der Situationsentwicklung erforderlich sind (vgl. Endsley, 1995b). Die Begriffe KORREKTE Wahrnehmung, VERSTÄNDNIS der Bedeutung, sowie AKKURATE Vorausschau weisen darauf hin, dass eine sich auf dem Rate-Niveau (0,5) befindliche Entscheidungssicherheit das Minimum des Situationsbewusstseins indiziert. Abbildung 5-3 auf Seite 68 liefert eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Bedeutung der numerisch kodierten Szenarieneinschätzungen bezüglich Entscheidungssicherheit, Urteilsleistung und Situationsbewusstsein. Ein Anstieg der Werte innerhalb des Bereiches zwischen 0,5 und 1,0 lässt sich inhaltlich für alle Maße als positives Ergebnis im Hinblick auf die in Kapitel 1.2 aufgezeigten Problemstellung interpretieren.

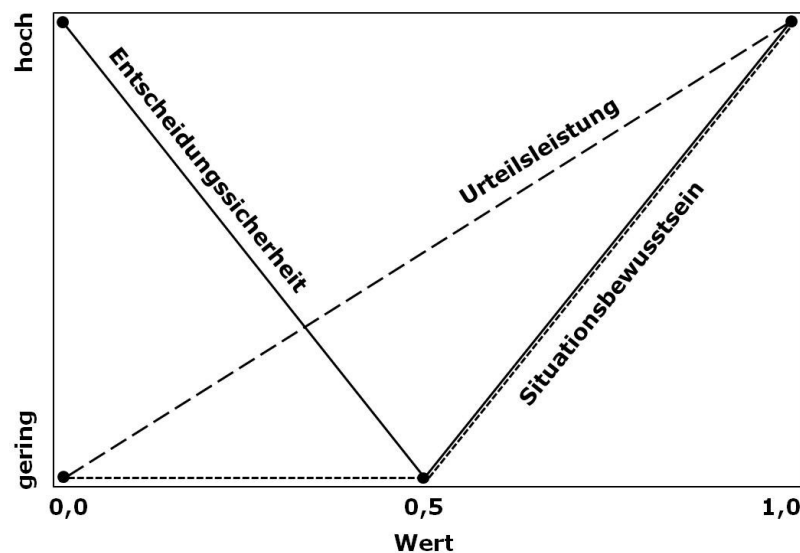


Abbildung 5-3: Interpretation der numerisch kodierten Szenarieneinschätzung hinsichtlich Entscheidungssicherheit, Urteilsleistung und Situationsbewusstsein

Es soll angemerkt werden, dass die Transformation in ausschließlich positive Werte innerhalb eines Wertebereiches von 0 bis 1 willkürlich gewählt ist. Diese Wahl trägt jedoch dem Umstand Rechnung, dass Werte die kleiner als 0,5 aber größer als 0 sind, den verbalen Marken zufolge zwar eine falsche Klassifikation indizieren, jedoch näher am wahren Szenarienausgang liegen als die Angaben „ganz sicher nicht“ im Konfliktfall bzw. "ganz sicher ja" im Separationsfall. Die Wahl eines sich in einem positiven Wertebereich befindlichen Kontinuums erscheint daher sinnvoll. Zudem wird davon ausgegangen, dass in sicherheitskritischen Fällen wie den hier eingesetzten Szenarien in der Realität bereits dann ein Eingriff durch den Lotsen erfolgt, wenn auch nur der geringste Zweifel an einem sicheren Szenarienausgang besteht. D.h., dass bereits bei der Wahl der Antwortkategorie "wahrscheinlich nicht" ein Eingriff stattfindet, und nur bei "ganz sicher nicht" keine Reaktion folgt. Der Anteil der Konfliktszenarien an der Gesamtheit aller Konfliktfälle, die mit einer der fünf Antwortkategorien "wahrscheinlich nicht" bis "ganz sicher ja" klassifiziert werden, repräsentiert daher die **Konflikterkennungsrate**. Diese gilt im Folgenden auch als **Effektivitätsmaß**.

keine Antwort möglich

Werden sich die beiden Luftfahrzeuge treffen?

- ☐ ganz sicher nicht
- ☐ wahrscheinlich nicht
- ☒ eher nicht
- ☐ eher ja
- ☐ wahrscheinlich ja
- ☐ ganz sicher ja

Die Szenariendauer war?

- ☐ viel zu kurz
- ☐ etwas zu kurz
- ☐ genau richtig
- ☐ etwas zu lange
- ☐ viel zu lange

Nächstes Szenario

Abbildung 5-4: Eingabemaske zur Einschätzung des Szenarienausganges und der verfügbaren Beobachtungszeit. Das Beispiel zeigt die zur Selektion ausgewählte Antwortkategorie "eher nicht"

Ausgehend davon, dass nicht nur die Richtigkeit einer Klassifikation, sondern auch die dazu erforderliche Zeitdauer einen wichtigen Leistungsaspekt bildet, wird zusätzlich die subjektive Einschätzung der verfügbaren **Beobachtungszeit** ermittelt. Dazu wird der Proband zur Beurteilung der Szenariendauer auf einer fünfstufigen Skala mit den verbalen Marken: "viel zu kurz", "etwas zu kurz", "genau richtig", "etwas zu lange", und "viel zu lange" angehalten. Auch hier finden *Radio Buttons* Verwendung. Die so erfassten Antworten werden, wie die auf die vorangehende Frage auch, in numerische Werte transformiert. Der Angabe "viel zu kurz" wird der Wert 1 und "viel zu lange" der Wert 5 zugewiesen, usw. Ein größerer Wert bedeutet also ein subjektiv geringerer Zeitaufwand zur Einschätzung des Szenarienausganges. Aufbauend auf die in Kapitel 3.1 dargelegten Annahmen und theoretischen Modelle unterstützt ein geringerer zeitlicher Ressourcenaufwand ebenso das Situationsbewusstsein, und reduziert die mentale Beanspruchung. Es wird also ein positiver Zusammenhang zwischen der Beurteilung der Beobachtungsdauer und der Urteilsleistung angenommen.

Während die oben beschriebenen Kriterien sowohl zur Leistungsbeschreibung mit Bezug auf einzelne Szenarien und Szenarientypen, als auch durch Mittelwertbildung für zusammenfassende Darlegungen geeignet sind, dienen die im Folgenden erläuterten Maße hauptsächlich für szenarienmerkmalsunabhängige und globale Darstellungen interindividueller Unterschiede und Leistungen.

Eine der wichtigsten Methoden zur Bestimmung situations- und personabhängiger Einflüsse auf die Ergebnisse von Leistungsmessungen bei Entscheidungsexperimenten im Flugsicherungskontext ist die individuelle **Antworttendenz** der Probanden (vgl. Averty, 2008; Bissieret, 1981). Diese lässt sich durch die oben aufgezeigte Ratingskala ermitteln und bringt zum Ausdruck, wie konservativ oder liberal ein Urteil gefällt wird. Dies geschieht durch die Bildung einer empirischen ROC Kurve (*Receiver Operating Characteristic*). Dazu werden die Anteile der tatsächlichen Konflikt- und Separationsfälle an der Gesamtzahl der mit den einzelnen Antwortkategorien klassifizierten Fälle ermittelt. Begonnen wird mit dem Verhältnis zwischen korrekt klassifizierten Konfliktfällen (**Hit Rate**) und fälschlicherweise als Konflikt klassifizierten Separationsfälle (**False Alarm Rate**) durch Vergabe der Antwort „ganz sicher ja“. Danach folgt die Kategorie „wahrscheinlich ja“ usw. Durch die Kumulierung der *Hit* und *False Alarm* Werte der vorangegangenen Antwortkategorien nehmen die Werte der Kategorie „ganz sicher nicht“ sowohl bezüglich der *Hit* als auch der *False Alarm Rate* stets den Betrag eins an, und markieren damit den oberen rechten Punkt des ROC Grafen, siehe Abbildung 5-5, Seite 71, linke Grafik. Die Werte der Kategorie „eher ja“ bilden damit die mittlere Kategorie der insgesamt fünf Antwortoptionen, die der Definition der ROC Kurve zwischen den beiden Extrempunkten mit den *Hit* und *False Alarm* Raten von null bzw. eins dienen. Die Position einer Antwortkategorie auf der ROC Kurve gibt die zugrunde liegende Antworttendenz (*c*) an, die einen Wertebereich von ca. ± 2.33 umfasst. Je weiter links ($c > 0$) bzw. rechts ($c < 0$) auf der ROC Kurve desto konservativer bzw. liberaler ist das Antwortverhalten (vgl. Swets, 1996). Ein liberales Antwortkriterium äußert sich in der Tendenz, eher zugunsten eines Konfliktes als einer Separation zu entscheiden, womit das Risiko einen Konflikt zu übersehen reduziert, und das eines Falschalarms erhöht wird. Ein konservatives Antwortkriterium bildet das Gegenteil ab. Ein neutrales Kriterium entspricht einer ausgewogenen Antworttendenz. Der Kurvenschnittpunkt mit der

Geraden zwischen den beiden Achsenmaxima markiert die neutrale Antwortposition, den sog. *zero-bias-point*, siehe Abbildung 5-5, rechte Grafik.

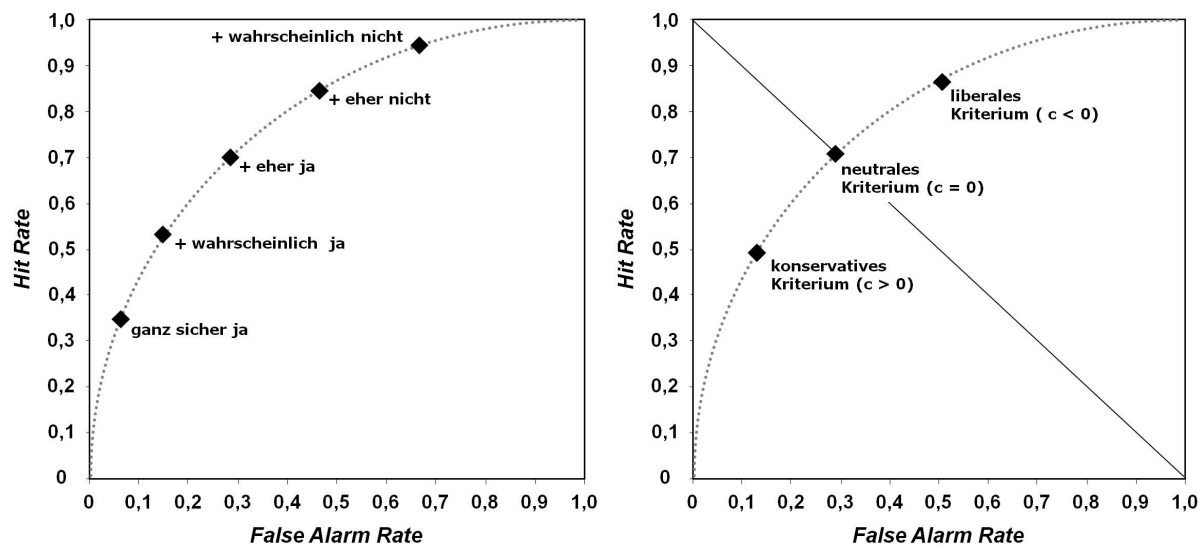


Abbildung 5-5: Schematische ROC Kurvendarstellungen. Zusammensetzung der ROC Kurve aufgrund der erzielten und kumulativ abgetragenen *Hit* und *False Alarm* Raten durch die Vergabe der entsprechenden Antwortkategorie bei Vorliegen eines tatsächlichen Konfliktes (linkes Bild) und Interpretation des Entscheidungskriteriums anhand der Antwortposition (rechtes Bild)

Rechnerisch lässt sich die einer jeden Antwortkategorie zugrunde liegende Antworttendenz durch die Formel $c = -0.5 \times (z(H) + z(F))$ ermitteln. Die Werte $z(H)$ und $z(F)$ entsprechen den z-transformierten *Hit* bzw. *False Alarm* Raten einer jeweiligen Antwortkategorie, womit c der z-standardisierten Distanz des Antwortkriteriums zum *zero-bias-point* entspricht. Ein negativer Wert indiziert ein liberales, ein positiver Wert ein konservatives Antwortkriterium. Diese Werte sind jedoch nur dann zwischen unterschiedlichen Bedingungen vergleichbar, wenn die ROC Kurven die gleiche Steigung an den jeweiligen Vergleichspunkten aufweisen. Ist dies nicht der Fall, unterscheiden sich nicht nur die jeweiligen Antworttendenzen, sondern auch die Diskriminationsleistungen, wodurch die Antwortkriterien sowohl von der Verwendungshäufigkeit der Antwortkategorie als auch dem Verhältnis der *Hit* und *False Alarm* Raten abhängen. Dieses Problem lässt sich durch die Berechnung der sog. Isosensitivitätslinie (zROC) lösen. Dabei handelt es sich um eine Gerade, die das Verhältnis zwischen *Hit* und *False Alarm Rate* innerhalb eines z-Koordinatensystems beschreibt. Aufgrund ihrer konstanten Steigung sind die auf dieser Basis berechneten Antworttendenzen unabhängig von der Sensitivität (vgl. Macmillan & Creelman, 2005). Zur Bestimmung der Geradengleichung

werden zunächst die *Hit* und *False Alarm* Raten der gewünschten ROC Kurve einer z-Transformation unterzogen. Anschließend wird eine Gleichung mittels linearer Regressionsrechnung ermittelt, die eine bestmögliche Beschreibung aller *Hit* und *False Alarm* Verhältnisse der ROC Kurve liefert. Sie besteht aus dem Ordinatenachsenschnittpunkt (a), dem Steigungskoeffizienten (b) und der z-transformierten *False Alarm Rate* (z(F)). Beträgt die Steigung der Geraden eins, lässt sich die oben bereits beschriebene Formel zur Berechnung der Antworttendenz verwenden. Zeigt sich ein davon abweichender Steigungskoeffizient ist die folgende Formel zu verwenden:

$$c_a = - (\sqrt{2} \times b) \div (\sqrt{1 + b^2} \times (1 + b)) \times (z(H) + z(F))$$

Neben der quantitativen Beschreibung der Antworttendenz erlaubt die Betrachtung der **Geradensteigung** eine qualitative Interpretation des zugrundeliegenden Antwortverhaltens. Bei einem liberalen Antwortverhalten fällt der Anteil sicherer im Gegensatz zu unsicheren Entscheidungen an der Gesamtzahl aller korrekten Konflikturteile größer aus als bei einer konservativeren Antworttendenz, was sich in einem kleineren Steigungskoeffizienten niederschlägt. Auch die Falschalarmrate nimmt dabei entsprechend stärker zu als bei einem konservativeren Antwortverhalten. Ein Steigungskoeffizient mit dem Wert eins indiziert ein neutrales Antwortverhalten. Bei der inhaltlichen Interpretation von Steigungskoeffizienzen unterschieden gilt es folgendes zu beachten: Einerseits deuten sie auf Entscheidungssicherheitsunterschiede hin, da die relativ große Anzahl sicherer im Vergleich zu unsicheren Urteilen an der Gesamtzahl korrekter Entscheidungen, die einer geringeren Geradensteigung zugrundeliegen, auf eine größere subjektive Entscheidungssicherheit der Operateure schließen lassen. Andererseits können Antworttendenzänderungen auch das Resultat strategischer Maßnahmen der Operateure im Umgang mit kognitiv stark beanspruchenden Situationen sein. Diese sind vor allem dann zu erwarten, wenn die Grenzen der Informationsverarbeitungskapazität erreicht werden, und ein Engpass von den zur Entscheidungsfindung erforderlichen mentalen Ressourcen auftritt. Dem daraus resultierende Anstieg der subjektiv erlebten Unsicherheit kann mit einem liberaleren Antwortverhalten begegnet werden, so dass die Wahrscheinlichkeit für das Übersehen eines Konfliktes reduziert wird. Im Zweifelsfall würde also zugunsten eines Konfliktes entschieden, und ein Falschalarm in Kauf genommen. Damit kann ein liberaleres Antwortverhalten sowohl durch ein höheres Maß an subjektiv erlebter

Entscheidungssicherheit, als auch durch den Einsatz einer ressourcenschonenden Entscheidungsstrategie bei Vorliegen von Unsicherheit begründet sein. Der Einbezug zusätzlicher Faktoren kann dabei behilflich sein, diese beiden Fälle voneinander zu unterscheiden. So ist davon auszugehen, dass eine Veränderung hin zu einem liberaleren Antwortverhalten bei einer Erhöhung der informatorischen Belastung und ansonsten konstanten Bedingungen eine strategische Maßnahme zur Beanspruchungsbewältigung darstellt. Umgekehrt sind Antworttendenzunterschiede zwischen zwei Anzeigen bei einer ansonsten gleichen Ausgangssituation so zu interpretieren, dass die Variante, die zu einem liberaleren Antwortverhalten führt, ein höheres Maß an subjektiver Entscheidungssicherheit erzeugt.

Zeigen sich unterschiedliche Antworttendenzen, kann zur objektiven Leistungsbeschreibung ein von der Antworttendenz unabhängiges Maß verwendet werden. Die Berechnung zur Ermittlung der unter einer jeweiligen ROC Kurve eingeschlossenen Fläche (AUC, engl. *Area Under Curve*) liefert ein solches Maß, und drückt in vorliegendem Falle die Wahrscheinlichkeit aus, dass ein zufällig aus den dargebotenen Szenarien ausgewählter Konfliktfall korrekt als solcher klassifiziert wird. Ein größerer Flächeninhalt bedeutet eine höhere **Diskriminationsleistung**. Der Wertebereich reicht von 0 bis 1, wobei 0 einer Fehlklassifikation, und 1 einer korrekten Klassifikation aller Fälle entspricht. Wie im Falle der Urteilsleistung entspricht auch hier ein Wert von 0,5 der Ratewahrscheinlichkeit. Die AUC Werte sind deshalb unabhängig von der zugrundeliegenden Antworttendenz, weil ausschließlich die Flächen unter den ROC Kurven, und nicht deren Form berücksichtigt werden. So ergibt sich sowohl dann ein Wert von 0,5, wenn unabhängig vom tatsächlichen Szenarienausgang z.B. in allen Fällen auf einen Konflikt geschlossen wird, als auch dann, wenn z.B. 75% der Konfliktfälle richtig und gleichzeitig 75% als Separationsfälle klassifiziert werden. Obgleich ersterem ein liberaleres Antwortverhalten zugrunde liegt (das Ergebnis liegt weiter rechts auf der ROC-Kurve), entsprechen sich die Diskriminationsleistungen beider Beispiele, da stets genauso viele Konfliktfälle korrekt identifiziert wie Separationsfälle mit einem Konflikt verwechselt werden. Dieses Beispiel zeigen zudem auf, dass sich die resultierende **Effizienz** dieser Entscheidungen genauso gleicht wie die erzielte Diskriminationsleistung (die Konflikterkennungsrate entspricht in beiden Fällen der Falschalarmrate). Zur Leistungsanalyse kann auf die weiter oben erläuterten zROC Geraden zurückgegriffen werden. Im Gegensatz zur Effektivität ist die Effi-

zienz umso größer, je kleiner der ermittelte Prozentwert ausfällt. Abbildung 5-6 liefert eine grafische Erläuterung der Effektivitäts- und Effizienzbestimmung. Durch die Festlegung einer bestimmten *Hit Rate* lässt sich eine einheitliche Vergleichsbasis schaffen, von derer ausgehend die *False Alarm Rate* ermittelt, und als objektives Maß für Effizienzvergleiche verwendet werden kann.

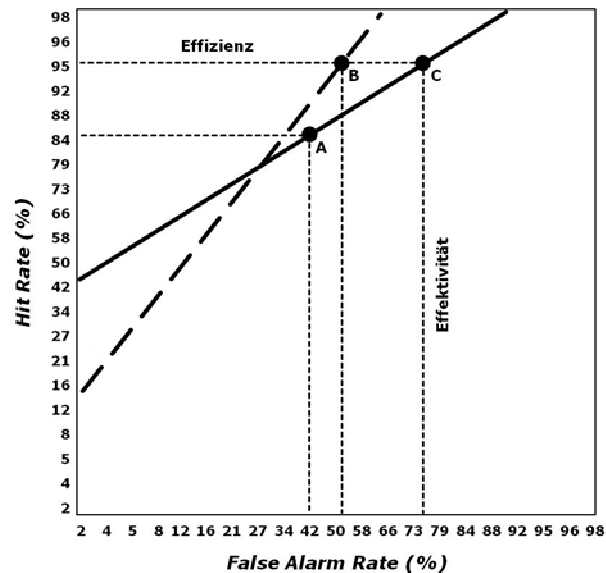


Abbildung 5-6: Schematische Darstellung zweier Isosensitivitätslinien, die ein relativ liberales bzw. konservativeres Antwortverhalten abbilden. Effektivitätsunterschiede werden durch die Differenz der jeweiligen Konflikterkennungsraten ($Hit_B - Hit_A$), Effizienzunterschiede durch die Differenz der Falschalarmraten bei gleicher Konflikterkennungsrate bestimmt ($FA_C - FA_B$)

Nach Abgabe beider Urteile startet der Proband selbst das nächste Szenario. Die Schaltfläche hierzu bleibt bis dahin inaktiv, um das Auftreten fehlender Werte aufgrund unvollständiger Eingaben zu verhindern. Für Fälle in denen **keine Antwort möglich** ist, wird die Gelegenheit zur Auswahl einer entsprechenden Antwortkategorie eingeräumt. Diese dient der Identifikation fehlerhafter Szenarien, die durch die automatisierte Szenariengenerierung entstehen können und stellt sicher, dass kein Proband zu einer Urteilsabgabe gezwungen wird. Diese Fälle können damit aus der Bewertung herausgenommen und ggf. einer separaten Analyse unterzogen werden.

Neben der Beurteilung der zukünftigen Luftfahrzeugseparation und der verfügbaren Zeitdauer zur Beobachtung des jeweiligen Szenarios, anhand der sich vor allem die in den oben formulierten Fragestellungen benannten Leistungsaspekte evaluieren lassen und damit der summativen Evaluation dienen, werden weitere

Messungen für formative Evaluationszwecke eingesetzt. Sie werden im Folgenden überblicksartig dargestellt und erläutert. Auf deren theoretische Fundierung wird jedoch verzichtet, da es den Umfang dieser Arbeit zu sehr ausdehnen würde. Entsprechende Verweise an den jeweiligen Stellen sollen genügen.

Zunächst ist die Erfassung von **Stichprobenparametern** wichtig, da sie eine detaillierte Beschreibung der personellen Grundlage der Untersuchung ermöglichen, und dadurch die Interpretierbarkeit der Ergebnisse durch Dritte unterstützen. Im Speziellen handelt es sich dabei um Alter, Geschlecht, Beruf, sowie Berufserfahrung, da sie wichtige Informationsquellen zur Bewertung der Stichprobensammensetzung liefern, und eine erste Einschätzung des Expertisegrades erlauben. Des Weiteren werden etwaige Einschränkungen der Sehkraft, die Verwendung von Sehhilfen, und das Vorliegen von Einschränkungen der räumlichen Wahrnehmungsfähigkeit erhoben. Aufgrund erwarteter Zusammenhänge zwischen Expertise und Leistung sind alle spezifischen Erfahrungen der Probanden von Interesse die in Verbindung mit der eingesetzten Technologie und der Anzeigengestaltung einen Einfluss auf die Leistung bei der Aufgabenausführung erwarten lassen. Dazu gehören Erfahrung mit Virtual-Reality-Anwendungen und anderen 3D Technologien, regelmäßige Computertätigkeiten, sowie die Anwendung von Programmen, die den Testszenarien ähneln, wie z.B. Flugsicherungssimulatoren. Diese Daten werden mittels schriftlichem Fragebogen erfasst (siehe Anhang 7.1).

Zur formativen Evaluation oben dargelegter Annahme, dass eine Verbesserung der Wahrnehmung und Informationsverarbeitung zu einer Reduktion der **mental-
len Beanspruchung** führt, wird diese durch das standardisierte schriftliche Fragebogeninstrument NASA Task Load Index (Hart & Staveland, 1988) erfasst. Der NASA TLX ist ein standardisiertes Instrument zur Erhebung der subjektiv erlebten mentalen Beanspruchung während der Ausführung einer Aufgabe (Stanton et al, 2005). Es handelt sich dabei um ein multidimensionales Bewertungsinstrument zur Messung der Beanspruchung, die sich aus sechs Subskalen zusammensetzt. Diese Subskalen umfassen die geistigen, körperlichen und zeitlichen Anforderungen, die Anstrengung sowie die Ausführung der Aufgaben und die erlebte Frustration. Im Hinblick auf die geistigen Anforderungen wird erfasst, wie viel geistige Anstrengung bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich ist. Die Subskala zu den körperlichen Anforderungen erfasst den Grad an erforderlicher Aktivität zur Aufgabenerfüllung, die Subskala

zu den zeitlichen Anforderungen den empfundenen Zeitdruck hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftreten. Die Subskala zur Anstrengung erhebt den subjektiv eingeschätzten Erfolgsgrad des Teilnehmers bei der Aufgabenausführung und die Subskala zur Aufgabenausführung misst die subjektive Einschätzung darüber, wie hart der jeweilige Teilnehmer arbeiten musste, um den erforderlichen Grad der Aufgabenerfüllung zu erreichen. Die Subskala zur Frustration erhebt, wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert der jeweilige Teilnehmer ist. Jede Subskala wird durch eine Intervallskala von gering (entspricht dem Wert 0) bis hoch (entspricht dem Wert 20) repräsentiert. Stanton et al (2005) nennen als Vorteile des NASA TLX die Schnelligkeit und Einfachheit mit welcher die Messung durchgeführt werden kann sowie seine vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. Des Weiteren ist er durch zahlreiche Studien validiert worden und stellt eines der meistgenutzten Instrumente zur Messung der mentalen Beanspruchung dar. Da er jeweils nach der Ausführung der jeweiligen Aufgabe erhoben wird, findet keine Beeinflussung der Aufgabenausführung statt. Er wird als sensitive Messmethode für Beanspruchungsmanipulationen angesehen und eignet sich Tsang und Wilson (1997) zufolge auch zur Beanspruchungsmessung bei Verwendung von Systemen mit eingeschränkter Funktionalität, sofern den Probanden eine Beschreibung des Funktionsumfangs des Zielsystems beschrieben wird. Hinsichtlich Reliabilität und Validität geben Stanton et al (2005) an, dass der NASA TLX konsistentere Schätzungen mentaler Beanspruchung für eine Aufgabe liefert als die bekannte SWAT Methode, und eine substantiell geringere Interratervariabilität aufweist als eindimensionale Messmethode. Des Weiteren ist der NASA TLX insbesondere bei geringen Beanspruchungswerten sensibler als die SWAT Technik. Darüber hinaus wird er besser von den Probanden akzeptiert als vergleichbare Techniken.

Zur Erhebung der als wichtig für die vorliegende Arbeit erachteten kognitiven Aspekte der individuellen Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsleistung werden folgende Verfahren eingesetzt: Zur Erfassung der **räumlichen Orientierungsleistung** wird der sog. *Spatial Orientation Test* herangezogen (SOT, Hegarty et al, 2011). Er liefert einen intervallskalierten Wert zwischen 0 und 180, wobei letzterer für die bestmögliche Orientierungsleistung steht. Zur Erfassung der individuellen Leistung der im Theorieteil dargelegten Arbeitsgedächtniskomponenten werden folgenden Methoden eingesetzt: Die **phonologi-**

sche Schleife lässt sich mittels des sog. *Backward Digit Span Tests* erfassen (vgl. Taylor et al, 2005), bei dem Zahlenreihen in Form einzelner Ziffern dargeboten, und vom Probanden nach Darbietungsende rückwärts verbal wiedergegeben werden sollen. Die Ziffernanzahl nimmt dabei nach jedem zweiten Durchgang um eine Ziffer zu. Die um eins reduzierte Ziffernanzahl der beiden Ziffernreihen, die beide fehlerhaft oder unvollständig wiedergegeben wurden, bildet den individuellen Leistungswert. Je höher der Wert, desto größer die Leistung der phonologischen Schleife. Die Erhebung der individuellen Leistungsfähigkeit des **visuell-räumlichen Notizblockes** erfordert zwei Verfahren, da sich seine Leistung in eine Positions- und eine Formkomponente unterteilen lässt. Erstere wird mit der unmittelbaren Blockspanne des sog. *Corsi Block Tapping Tests* ermittelt (Berch et al, 1998), bei dem stets drei unterschiedliche aber gleich lange Reihenfolgen auf einem Brett mit gleichförmigen Quadern durch antippen mit dem Finger durch den Versuchsleiter vorgegeben werden, und vom Probanden in gleicher Reihenfolge nachzutippen sind. Sind zwei oder weniger der drei Reihenfolgen korrekt, wird die Reihenfolgenlänge um eins erhöht, bis der Proband alle drei Reihenfolgen fehlerhaft nachtippt. Die Länge dieser Reihe wird um eins subtrahiert, was die individuelle Gedächtnisleistung für Objektpositionen des visuell-räumlichen Notizblockes wiedergibt. Je höher der Wert, desto höher die Leistung. Mit dem sog. *Visual Pattern Test* wird die Gedächtnisleistung für visuell dargebotene Formen oder Konstellationen erhoben. Schachbrettartige Muster, bei denen jeweils die Hälfte der Felder geschwärzt ist, werden für die Dauer von 3 Sekunden dargeboten. Danach markiert der Proband dieselben Felder auf einer entsprechenden Papiervorlage, die auf der Reizvorlage geschwärzt waren. Die Größe der schachbrettartigen Vorlage beträgt zum Testbeginn vier und nimmt jedes Mal um zwei zu, bis hin zu einer Vorlagengröße von 30. Die Felderanzahl der Vorlage die als letztes vollständig korrekt wiedergegeben wurde bildet die erreichte Punktezahl. Je höher die Punktezahl, desto größer die formbezogene Gedächtnisleistung des visuell-räumlichen Notizblocks. Zur Messung der **geteilten Aufmerksamkeitsleistung** wird der sog. *Random Number Generation Test* verwendet (RNG, Evans, 1978), bei der der Proband 100 Ziffern zwischen 1 und 10 in möglichst randomisierter Reihenfolge und unter Vermeidung von Mustern durch Wiederholung der gleichen Zahlenfolgen nennen soll. Des Weiteren soll darauf geachtet werden, dass alle Ziffern etwa gleich häufig auftreten. Durch ein spe-

zielles Berechnungsverfahren wird ein Index gebildet, dessen Wertebereich zwischen 0 und 1 liegt, wobei 0 der besten und 1 der geringsten geteilten Aufmerksamkeitsleistung entspricht. Die **kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit** wird durch den ersten Teil des sog. *Trail Making Test* (TMT, Spreen & Strauss, 1998) ermittelt, der einen Zeitwert in Sekunden liefert. Der Wert ergibt sich aus der Dauer, die der Proband für die Verbindung einer auf einem DIN-A4 Blatt zufällig angeordneten Folge von 25 Ziffern in aufsteigender Reihenfolge benötigt, wenn er dies schnellstmöglich ausführt. Je geringer der Zeitwert, desto höher die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die Leistung der **zentralen Exekutive** wird durch den zweiten Testteil erfasst. Der Proband wird angehalten, eine wiederum auf einem DIN-A4 Blatt zufällig angeordnete Reihenfolge von Buchstaben und Ziffern in abwechselnder und aufsteigender Form mit einem Stift schnellstmöglich zu verbinden. Auch hierfür bildet die Zeitdauer das entsprechende Leistungsmaß. Die **selektive Aufmerksamkeitsleistung** wird mit dem sog. d2-R-Test erhoben (Brickenkamp et al, 2010). Es handelt sich dabei um einen Durchstreichtest, bei dem der Proband unter Zeitdruck bestimmte Buchstaben durchstreichen und andere ignorieren soll. Die durch ein spezielles Auswerteschema ermittelte Punktezahl indiziert die selektive Aufmerksamkeitsleistung, die umso höher ist, je größer der Testwert ausfällt.

Zur Erfassung relevanter Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmale existieren etablierte Verfahren die eine effektive und effiziente Erhebung der weniger leicht zugänglichen psychografischen Aspekte ermöglichen. Neben den vergleichsweise leicht zugänglichen und objektivierbaren leistungsbezogenen und demografischen Daten, erlauben sie eine statistische Kontrolle etwaiger Störgrößen durch interindividuelle Unterschiede, um so die Effekte die im Fokus der Untersuchung stehen sicherer erfassen zu können. Dabei handelt es sich um den Fragebogen zur Erfassung von Strategie und Expertise in Experimenten in seiner revidierten Fassung (FESE-R, Nachtwei, 2008), mit dem die **Genauigkeits- und Geschwindigkeitsorientierung** der Probanden erhoben wird. Sie äußert sich in Form einer Bearbeitungsstrategie, die teilweise durch die Gabe geeigneter Instruktionen beeinflusst werden, so dass die Probanden eine gleiche Vorgehensweise anstreben (vgl. Eichinger, 2011). Dadurch lassen sich potentielle Störquellen von vornherein verringern. Gleichzeitig muss davon ausgegangen werden, dass die Probanden aufgrund individueller Unterschiede nicht stets in gleichem Maße dazu in

der Lage sind die Instruktionen umzusetzen, was durch die entsprechende Erhebung eine statistische Kontrolle ermöglicht. Des Weiteren können die **Hoffnung auf Erfolg** bzw. die **Furcht vor Misserfolg** das Verhalten der Probanden in maßgeblicher Weise beeinflussen, indem sie eine Tendenz zur Verfolgung von Erfolg bzw. zur Vermeidung von möglichem Misserfolg aufweisen, was durch die Erhebung der revidierten Fassung der sog. *Achievement Motive Scale* (AMS-R, Lang & Fries, 2006) ermittelt wird. Darüber hinaus hat sich in der Persönlichkeitspsychologie seit geraumer Zeit eine Gruppe von Eigenschaften als besonders geeignet für die Persönlichkeitsbeschreibung etabliert, die sog. *Big-Five*. Dabei handelt es sich um die fünf Eigenschaften **Extraversion, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit, Neurotizismus** und **Offenheit für Erfahrungen**, denen in zahlreichen Studien Zusammenhänge mit der Leistung in Human-Factors-Experimenten nachgewiesen wurden. Zu deren Erhebung wird das sog. *Big-Five-Inventory* mit 10 Items herangezogen (BFI-10, Rammstedt & John, 2007). Einen weiteren Einflussfaktor bildet das Maß an subjektive erlebter **Handlungskontrolle**. Sie beschreibt das Ausmaß an Tätigkeitszentrierung einer Person, sprich ihre intrinsische Motivation, sich auf die Ausführung der Aufgabe zu konzentrieren und diese gut zu erledigen. Das Gegenteil davon wird als Aktionismus oder Zielorientierung bezeichnet, was sich dadurch äußert, dass die Person die Aufgabenbearbeitung verfrüht beendet und während der Ausführung bereits an das Ziel bzw. den Aufgabenausgang denkt. Sie wird mit dem Fragebogen zur Erfassung der Handlungskontrolle nach Erfolg, Misserfolg sowie prospektiv ermitteln (HAKEMP-90, Kuhl, 1983 & 1994). Durch Quantifizierung der Skalen o.g. Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmale zu Daten auf Intervallskalenniveau lassen sich entsprechende statistische Analysen und ggf. Kontrollverfahren anwenden.

5.2.3 Stichprobenzusammensetzung & Probandenauswahl

Zur Überprüfung der Einflüsse durch Expertise und Strategieeinsatz werden Fluglotsen, Piloten und Laien rekrutiert, mit denen insgesamt vier verschiedene **Probandengruppen** gleich großen Umfangs gebildet werden, nämlich eine Expertengruppe, die ausschließlich aus **Fluglotsen** besteht, eine Gruppe mit **Piloten**, sowie zwei Gruppen mit **Laien**, von denen eine ein speziell für diese Untersuchung entwickeltes Konfliktbeurteilungstraining erhält. Der Rekrutierung und der Einteilung in die Gruppen liegen folgende Annahmen zu Grunde: Es wird davon

ausgegangen, dass sich Fluglotsen und Piloten bezüglich ihrer kognitiven Leistungsfähigkeit nicht nennenswert voneinander unterscheiden, da die Teilnehmer jeder Gruppe vergleichbare Einstellungskriterien zur Zulassung ihrer beruflichen Ausbildung erfüllen müssen, bei denen es vor allem um die Überprüfung kognitiver Leistungsmaße geht (Hopkin, 1995). Die Fluglotsen verfügen jedoch zusätzlich über ein hohes Maß an domänenspezifischer Expertise bezüglich der Bearbeitung von Konfliktbeurteilungsaufgaben, wie sie im Rahmen oben beschriebener Szenarien erforderlich ist, wohingegen Piloten diesbezüglich den Laien gleich sind. Ähnliche Annahmen werden auch für die beiden Laiengruppen getroffen. Bei diesen handelt es sich um vergleichsweise heterogene Gruppen im Hinblick auf ihre individuelle kognitive Leistungsfähigkeit, die sich durch deren zufällige Zuteilung in eine der beiden Laiengruppen im Mittel nicht unterscheiden sollte. Durch das Konfliktbeurteilungstraining der einen Laiengruppe verfügt diese im Gegensatz zu den untrainierten Laien über eine höhere Konfliktbeurteilungsexpertise. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass zwischen den Fluglotsen und Piloten einerseits und den beiden Laiengruppen andererseits Gruppenunterschiede hinsichtlich deren kognitiven Leistung bestehen. Aufgrund des Trainings wird die eine Laiengruppe den Fluglotsen somit bezüglich der Konfliktbeurteilungsexpertise als annähernd gleichwertig erachtet, nicht jedoch im Hinblick auf die durchschnittliche kognitive Leistung.

Mit Hilfe einer **Teststärkeanalyse** lässt sich bestimmen, wie viele Probanden zu rekrutieren sind, um die gewünschte Effektgröße statistisch absichern zu können. Dazu werden die Effektstärke und das statistische Sicherheitsniveau festgelegt, d.h. eine akzeptable Wahrscheinlichkeit definiert, fälschlicherweise auf einen bedeutsamen Effekt zu schließen der zufällig auftritt, bzw. einen tatsächlich vorhandenen Effekt nicht zu entdecken (Alpha- und Betafehler, vgl. Bortz, 2005). Für die Teststärkeanalyse wurden ein Alphaniveau von 5%, ein Betaniveau von 20%, und eine erwartete und von Cohen (1992) als mittelgroß bezeichnete Effektgröße von 0,35 festgelegt. Aufgrund dieser Festlegung liefert die Teststärkeanalyse eine Gruppenmindestgröße von jeweils 12 Probanden, weshalb zur Durchführung des Experiments insgesamt 48 Teilnehmer rekrutiert werden.

5.2.4 Konfliktbeurteilungstraining & Trainingsszenarien

Ziel des Konfliktbeurteilungstrainings ist es, eine bezüglich der Expertise vergleichbare, aber hinsichtlich der kognitiven Leistungsaspekte unterschiedliche Gruppe zu den Fluglotsen zu schaffen. Daher findet das Training unter Verwendung der 2D Referenzanzeige statt, da die Lotsen ihre Expertise mit einer vergleichbaren Anzeige erwerben. Ein spezifisches Training der Laien anhand der 3D Anzeige könnte hingegen das Versuchsergebnis verzerren.

Die nach dem Zufallsprinzip zur Trainingsgruppe zugeteilten Laien werden dazu trainiert, ihrer Entscheidung folgende **Konfliktbeurteilungsstrategie** zugrunde zu legen, die aus bis zu vier hierarchisch angeordneten Schritten besteht, siehe Abbildung 5-7 auf Seite 82. Im **ersten Schritt** liegt das Augenmerk stets auf der vertikalen Bewegung der beiden Luftfahrzeuge. Die Aufgabe ist es hierbei zu ermitteln, ob sich eines oder beide Luftfahrzeuge auf gleich bleibenden Höhen bewegen. Die so erhaltene Information bestimmt das weitere Vorgehen innerhalb des zweiten Schrittes. Liegt keine vertikale Bewegung vor, werden die Flughöhen der beiden Luftfahrzeuge miteinander verglichen. Bewegen sich diese auf unterschiedlichen Höhen, so wird kein Konflikt entstehen. Bewegt sich mindestens eines der beiden Luftfahrzeuge in vertikaler Richtung, so besteht die Aufgabe im **zweite Schritt** darin zu entscheiden, ob eine vertikale Annäherung stattfindet oder nicht, was z.B. dann der Fall ist, wenn sich das ohnehin bereits mit geringerer Höhe bewegendes Objekt im Sinkflug befindet, während das Zweite seine Höhe beibehält. Liegt ein solcher Fall vor und es findet keine vertikale Annäherung statt kann an dieser Stelle davon ausgegangen werden, dass keine Konfliktsituation entstehen wird. Anders hingegen gestaltet sich der weitere Entscheidungsverlauf, wenn der Operateur im zweiten Schritt zu einem positiven Befund gelangt, also wahrnimmt, dass sich beide Luftfahrzeuge entweder auf der gleichen Höhe befinden, oder sich einander vertikal annähern (oder sich auf gleicher Höhe befinden und gleichsam sinken). Dann ist in einem **dritten Schritt** der Trajektorienschnittpunkt (auf der horizontalen Ebene) zu ermitteln und zu entscheiden, ob er von beiden Objekten zeitgleich erreicht wird. Ist dies nicht der Fall, kann von einem konfliktfreien Verlauf ausgegangen werden. Fällt diese Entscheidung hingegen positiv aus, muss in einem **vierten Schritt** abgeschätzt werden, ob die beiden Luftfahrzeuge bei Erreichen des Trajektorienschnittpunktes die gleichen Höhen einnehmen. Wenn ja, muss vom Entstehen eines Konflikt-

es ausgegangen werden, wenn nein, können sich die beiden Objekte sicher separiert aneinander vorbeibewegen. Dieser Schritt erübrigt sich, wenn bereits im ersten Schritt festgestellt wurde, dass keine Vertikalbewegung stattfindet.

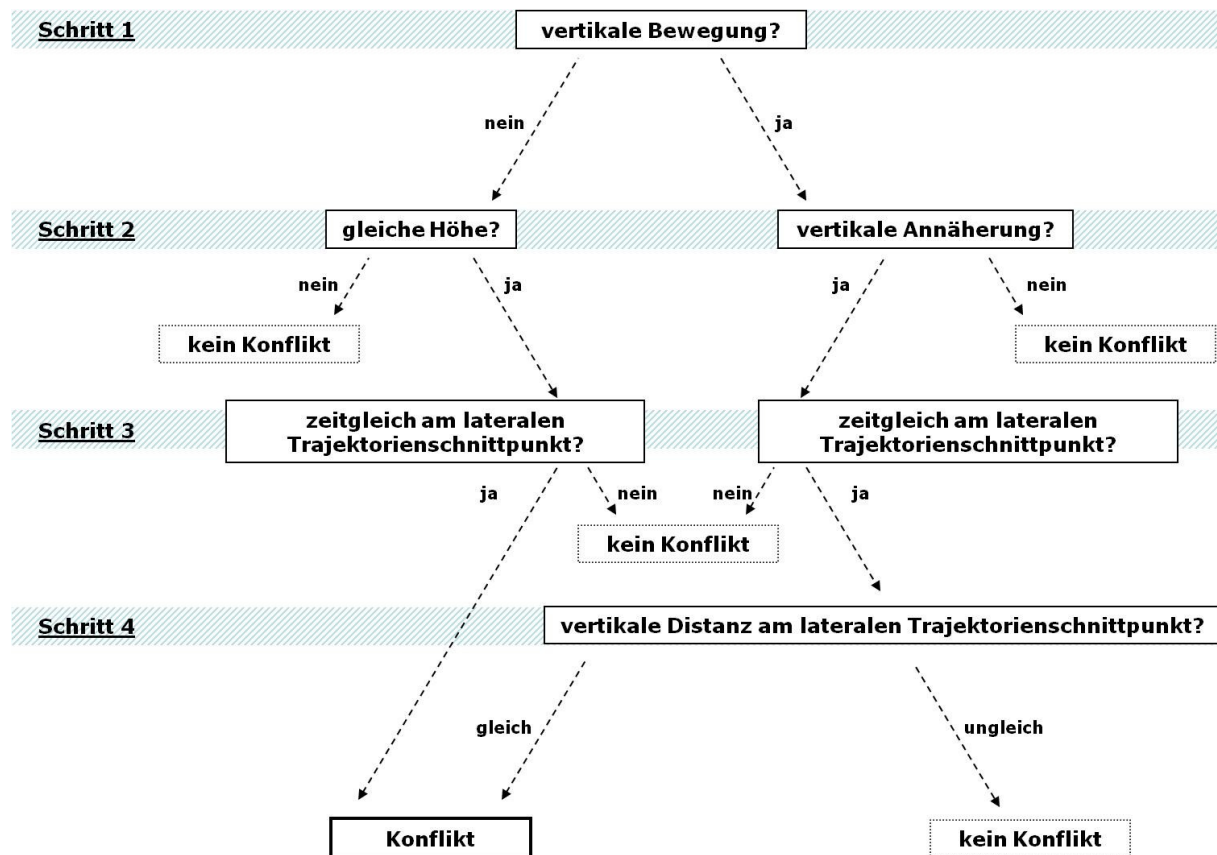


Abbildung 5-7: Übersicht über die Entscheidungsschritte der Konfliktbeurteilungsstrategie

Als Grundlage des Konfliktbeurteilungstraining und die Erläuterung der Trainingsinhalte werden zunächst die benötigten **Trainingsszenarien** beschrieben. Diese werden, wie bei den eigentlichen Versuchen auch, für 10 s dargeboten, und danach angehalten und durch die Bewertungsmaske ersetzt. Im Gegensatz zu den Versuchsdurchläufen werden die Trainingsszenarien aber nach der Urteilsabgabe bis zum Schnittpunkt im Falle eines Konfliktes, bzw. bis zum Punkt der größten Annäherung im Falle eines Separationsfalles weiter abgespielt. Aus Effizienzgründen geschieht letzteres im Zeitraffer mit dreifacher Geschwindigkeit. Zur Bildung der Trainingsszenarien wird die folgende Heuristik eingesetzt: Betrachtet werden alle im Rahmen der Untersuchung systematisch variierten Faktoren, d.h. Konvergenzwinkel, Distanz, vertikale Bewegung und Dimension, so dass eine Vielzahl der Aufgaben durch das Training abgedeckt wird. Zu diesem Zweck wird auch eine Variation des Ansichtswinkels vorgenommen. Da die Variation dieser Fakto-

ren einen Einfluss auf die **Aufgabenschwierigkeit** ausübt wird eine diesbezügliche Klassifizierung vorgenommen. Dadurch lässt sich innerhalb einer jeden Trainingsphase eine aufsteigende, und zwischen den Trainingsphasen eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit realisieren. Die Basis für diese Klassifizierung bildet eine ordinale Punktevergabe. Jeder Faktorstufe wird ein Punktwert zugeordnet. Die Faktorstufe innerhalb eines Faktors, mit der - ausgehend vom aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand - die geringste Aufgabenschwierigkeit assoziiert wird, erhält den Wert eins. Die nächst schwierigere Faktorausprägung erhält den Wert zwei, usw. Lässt sich keine Differenzierung zwischen mehreren Stufen vornehmen, erhalten sie denselben Wert. Ein höherer Punktwert entspricht somit einer größeren Schwierigkeit, siehe Tabelle 5-3. Die Punktesumme dient als ordinale Maß zur Klassifikation der Aufgabenschwierigkeit.

Tabelle 5-3: Zuordnung von Punktwerten zu Faktorstufen als Grundlage zur Klassifizierung der Aufgabenschwierigkeit

Faktor	Faktorstufe	Punktwert
Konvergenzwinkel	0° / 180° / 90°	1 / 1 / 2
vertikale Bewegung	nein / ja	1 / 2
Dimension bzw. Distanz	0 ft / 8.000 ft vertikal / 8.000 ft horizontal	1 / 1 / 2
Ansichtswinkel	45° / 90°	1 / 1

Im Falle des **Konvergenzwinkels** mit den drei Ausprägungen 0°, 180° und 90° werden die Punktwerte eins, eins und zwei vergeben. Die beiden erstgenannten Fälle erhalten mangels Unterscheidbarkeit der Schwierigkeit denselben Wert. Bei der **vertikalen Bewegung** werden für zwei der vier Faktorstufen, nämlich keine vertikale Bewegung und eines der beiden Luftfahrzeuge sinkt, während sich das andere mit konstanter Höhe bewegt, die beiden Punktwerte eins und zwei vergeben. Die offensichtlich schwierigeren Bedingungen, in denen beide Luftfahrzeuge Höhenänderungen vornehmen, werden nicht im Rahmen der Übungsfälle dargeboten, da die beiden betrachteten Bedingungen eine ausreichende Vorstellung des eigentlichen Testablaufes vermitteln, und sich die Gefahr einer möglichen Frustrationsquelle reduziert. Bei dem Faktor **Dimension** mit den beiden Ausprägungen vertikal und horizontal werden die beiden Werte eins und zwei vergeben. Es ist anzumerken, dass diese Unterscheidung für die Konfliktfälle nicht ge-

troffen werden kann, da diese voraussetzen, dass sowohl eine vertikale wie auch horizontale Trajektorienüberschneidung stattfindet. Die **Distanz** wird für Übungszwecke in den Ausprägungen 0 ft und 8.000 ft umgesetzt. Die Distanz von 8.000 ft wird bewusst größer als in der leichtesten Testbedingung gehalten, da dies zur Veranschaulichung der Separationsfälle ausreicht und, genau wie im Falle der vertikalen Bewegung, dazu dient, eine Frustration des Probanden zu verhindern. Bezüglich der Punktwerte erhalten die Konfliktfälle den gleichen Wert wie die einfacheren vertikalen Separationsfälle. Daher können die beiden Faktoren Dimension und Distanz als einen Faktor mit drei Stufen behandelt werden. Der **Ansichtswinkel** wird in den beiden Ausprägungen 45° und 90° implementiert, die jedoch als gleichwertig bezüglich der Aufgabenschwierigkeit erachtet werden, und daher gleiche Punktwerte erhalten. Die **Anzahl der Trainings-szenarien** ergibt sich wie folgt: Aufgrund der Faktorstufenanzahl bestehen zunächst 48 ($3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$) Kombinationsmöglichkeiten, die sich aufgrund der fehlenden Unterscheidung zwischen vertikaler und horizontaler Dimension im Falle eines Konfliktes auf 36 reduzieren, sprich 12 Konflikt- und 24 Separationsfälle. Da die Probanden im Rahmen der Trainingsphasen vom Versuchsleiter den tatsächlichen Szenarienausgang rückgemeldet bekommen, könnte diese Verteilung fälschlicherweise auch für die Testsituation angenommen werden. Um dies zu vermeiden, wird die Anzahl der Konfliktfälle verdoppelt, so dass insgesamt sowohl 24 Konflikt- als auch 24 Separationsfälle auf die vier Übungsphasen verteilt werden. Der Punktwertzuordnung aus Tabelle 5-3 (Seite 83) folgend erhalten 12 Szenarien den Punktwert vier, 22 Szenarien den Wert fünf, 12 Szenarien den Wert sechs, sowie zwei Szenarien den Wert sieben. Zur Einteilung der Szenarien werden die 12 Szenarien mit dem geringsten Punktwert von vier als leicht klassifiziert, wohingegen die 22 Szenarien mit dem Wert fünf als mittelschwer, und die Szenarien mit den Werten sechs und sieben als schwer bezeichnet werden.

Der Trainingsinhalt und -ablauf orientiert sich am **Cognitive-Apprenticeship-Ansatz** nach Collins et al (1987), einem pädagogischen Ansatz zur Wissensvermittlung, der in engem Zusammenhang zum situierten Lernen steht und heute in vielen Domänen zum Einsatz kommt. Er dient der Sichtbarmachung kognitiver Prozesse und hilft dem Lernenden dabei, Denkschritte und deren Bedeutsamkeit für das Ergebnis zu verstehen. Sein Vorteil liegt v.a. darin, metakognitive Fähigkeiten zu schulen, die bei einer überwiegend theoretischen und abstrakten Wiss-

ensvermittlung vernachlässigt werden. Gerade diese versetzen den Lernenden aber in die Lage, auch bisher unbekannte Probleme mit der erlernten Strategie zu lösen und verhindern, dass lediglich Lösungswege für Musterbeispiele erlernt werden. Dies ist für die vorliegende Aufgabe besonders wichtig, da dadurch sichergestellt werden kann, dass die trainierten Laien die Konfliktbeurteilungsstrategie an sich verstehen und diese daher, wie es die Experten aufgrund ihrer täglichen Arbeit gewöhnt sind, auch auf neue Konfliktsituation übertragen können. Der Ansatz setzt sich aus den vier Phasen *Modelling* (Vorführen), *Scaffolding* (unterstützte Eigentätigkeit), *Fading* (nachlassende Unterstützung) und *Coaching* (betreute Aufgabenbearbeitung) zusammen. In der ersten Trainingsphase, **Modelling**, führt der Versuchsleiter den Probanden die Anwendung der kognitiven Konfliktbeurteilungsstrategie vor, indem er selbst eine festgelegte Anzahl von Trainingsszenarien beurteilt, und dabei seine kognitiven Handlungsschritte verbalisiert. Bei diesen Szenarien handelt es sich um zufällig aus obigen ausgewählte Fälle. Es werden dem Probanden in dieser Phase je zwei Anwendungsbeispiele aus einer Schwierigkeitskategorie präsentiert, die stets ein Konflikt- und einen Separationsfall umfassen. Beginnend mit den leichten Fällen und einer zunehmenden Schwierigkeitssteigerung wird dem Probanden die Anwendung der Strategie verdeutlicht. In der zweiten Phase, **Scaffolding**, bearbeitet der Proband selbst eine festgelegte Anzahl speziell für diese Trainingsphase konzipierte Konfliktbeurteilungsaufgaben, wobei er gleichzeitig die Anwendung der Konfliktbeurteilungsstrategie verbalisiert. Er wird dabei vom Versuchsleiter sowohl bereits vor der Abgabe der Bewertung in Form geeigneter Hinweise und Erklärungen, als auch nach der Szenarienbewertung bei Betrachtung der Lösung in Diskursform unterstützt. Der Schwierigkeitsgrad der Szenarien in dieser Phase wird vergleichsweise gering gehalten, um die Probanden beim Erwerb der Strategien und deren Anwendung zu unterstützen. Der Proband erhält lediglich leichte und mittelschwere Trainingsszenarien, wobei die vom Versuchsleiter in der vorangegangenen Trainingsphase bereits für die Demonstration der Strategieanwendung verwendeten Szenarien nicht mehr dargeboten werden. Es stehen somit noch 10 leichte und 20 mittelschwere Trainingsszenarien zur Verfügung, von denen jeweils fünf zufällig ausgewählt und mit Unterstützung des Versuchsleiters bearbeitet werden. Die dritte Phase, **Fading**, ähnelt inhaltlich der Zweiten, jedoch reduziert hier der Versuchsleiter seine Unterstützung. Seine Aufgabe ist es

hier, die korrekte Anwendung der zu erlernenden Konfliktbeurteilungsstrategie zu überprüfen und dem Probanden eine Rückmeldung zu dessen Vorgehensweise zu geben. Dies wird dadurch möglich, dass der Proband nach wie vor dazu angehalten wird, seine Gedankengänge zu artikulieren. Der Versuchsleiter gibt dem Probanden Rückmeldung über dessen Strategie, erläutert ggf. nochmals die korrekte Anwendung, und erklärt das Zustandekommen des Szenarienausganges. Dies geschieht jedoch erst, nachdem der Proband seine Bewertung abgegeben hat. Wie in der vorangegangenen Phase steht auch hierfür eine festgelegte Anzahl an Trainingsszenarien zur Verfügung. Der Schwierigkeitsgrad dieser Szenarien liegt dabei höher als in der zweiten Phase, da davon ausgegangen werden kann, dass die Anwendung der Konfliktbeurteilungsstrategie bereits ein geringeres Ausmaß mentaler Ressourcen beansprucht, die für deren Anwendung auf die nun schwierigeren Szenarien verwendet werden können. Es bleiben für die letzten beiden Trainingsphasen 32 Szenarien übrig, von denen fünf der leichten, 15 der mittleren und 12 der schwierigen Kategorie angehören. Für diese Trainingsphase wird je 1/3 der Szenarien aus einer Kategorie zufällig ausgewählt. Dies führt dazu, dass insgesamt 11 Szenarien, zwei leichte, fünf mittelschwere und vier schwere, unter bedarfsabhängiger Unterstützung durch den Versuchsleiter vom Probanden zu bearbeiten sind. In der vierten Phase, **Coaching**, bearbeitet der Proband die Konfliktbeurteilungsaufgaben völlig selbständig. Zum Zwecke der Kontrollierbarkeit der korrekten Strategieanwendung durch den Versuchsleiter wird der Proband stets dazu angehalten, mit der Verbalisierung seiner Gedankengänge fortzufahren. Der Versuchsleiter stet dabei nach wie vor für Fragen zur Verfügung, greift jedoch nur im Falle einer falschen Strategieanwendung oder Bewertung ein, indem er dem Probanden die korrekte Vorgehensweise erläutert und auf die richtige Lösung hinweist. Die vom Probanden zu bearbeitende Szenarienzahl ist in dieser Phase nicht festgelegt, sondern richtet sich nach dem Können des Probanden. Dies geschieht durch Festlegung eines Abbruchkriteriums. Da keine Referenzwerte vorliegen, muss dieses Kriterium willkürlich festgelegt werden. Für den vorliegenden Fall wird eine Mindestanzahl von drei richtig gelösten innerhalb der letzten vier Fälle zu erwartet. Dadurch wird sichergestellt, dass die Urteilsleistung mit 75% deutlich über der Ratewahrscheinlichkeit von 50% liegt, gleichzeitig aber Spielraum für individuelle Leistungsunterschiede einräumt. Mit einer richtigen Bearbeitung ist gemeint, dass die Beurteilung des

Probanden bezüglich ihrer Tendenz in der Richtung relativ zur Skalenmitte liegt, an dessen Ende der tatsächliche Szenarienausgang verortet ist. Die letzte Trainingsphase umfasst insgesamt 21 Trainingsszenarien, drei leichte, 10 mittelschwere und acht schwere, die in randomisierter Abfolge dargeboten werden.

5.2.5 Untersuchungsdurchführung

Nach der **Begrüßung** wird zunächst eine standardisierte **schriftliche Erklärung** des Versuchszwecks und -ablaufs vorgelegt. Anschließend findet die Erhebung der **demografischen Daten** sowie der **Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmale** mittels schriftlicher Fragebögen statt. Piloten und untrainierte Laien erhalten identische Unterlagen. Fluglotsen und trainierte Laien bearbeiten eine erweiterte Version. Erstere werden zusätzlich um eine Einschätzung ihrer **Zufriedenheit mit der 2D Referenz** sowie ihrer **Einstellung zu technischen Neuerungen** ihrer gewohnten Anzeige und gegenüber 3D gebeten. Trainierte Laien erhalten zusätzliche Informationen zum **Konfliktbeurteilungstraining**. Vor der eigentlichen Beurteilung der Szenarien mit einer jeden Anzeigevariante wird dem Probanden stets die Gelegenheit gegeben, sich durch eine **Übungsphase** an die Aufgabenbearbeitung mit dem Konzept anhand von 10 Übungsszenarien zu gewöhnen. Die Zuweisung der Probanden zu einer jeweiligen Darbietungssequenz der Anzeigen erfolgt zufällig. Da insgesamt vier Konzepte untersucht werden bestehen 4! mögliche Sequenzen, so dass diese mit 48 Probanden zweimal appliziert werden können. Die trainierte Laiengruppe erhält vorab das Konfliktbeurteilungstraining mit 2D. Eine Übungsphase mit 2D erübrigt sich dadurch für diese Gruppe. Die zufällige Darbietungsreihenfolge der Konzepte gilt jedoch auch für sie, unabhängig davon, dass das Konfliktbeurteilungstraining zuerst mit 2D Anzeige absolviert wird. Für die Übungsphasen werden dieselben Szenarien wie für das Konfliktbeurteilungstraining verwendet. Dadurch ist sichergestellt, dass alle Gruppen über eine vergleichbare Expertise mit den Szenarien verfügen. Die Übungsszenarien werden, gleich wie in den Trainingssitzungen, für die Dauer von 10 s, mit einer an die Bewertung anschließenden Zeitrafferdarstellung präsentiert. Im Anschluss an die Übungsphase mit der zufällig zugewiesenen Anzeige wird mit der entsprechenden **Testphase** begonnen. Im ersten Testteil werden 86 Szenarien in zufälliger Abfolge dargeboten. Hierbei ist noch keine zeitgleiche auditive Zusatzaufgabe auszuführen. Anschließend wird eine retrospektive Beurteilung der im Rahmen der Aufgabenbearbeitung subjektiv erlebten **Bean-**

spruchung mittels NASA TLX durchgeführt. Bis auf die trainierten Laien werden alle Probanden um eine Beschreibung ihrer eingesetzten **Strategie** zur Entscheidungsfindung mittels eines unterstützenden Schemas befragt. Da die trainierten Laien ein entsprechendes Training zur Entscheidungsfindung erhalten haben, werden sie um eine Einschätzung gebeten, wie gut sich die erlernte Strategie anwenden ließ. Danach erhalten alle Probanden 32 weitere Szenarien mit derselben Anzeige zur Beurteilung. Dieser Testteil erfolgt unter Hinzunahme einer **auditiven Zusatzbeanspruchung**, die der durch den Sprechfunk auftretenden Beanspruchung ähnelt, und speziell für diesen Versuch entwickelt wurde (vgl. Petermeier, 2012). Ihr Vorteil gegenüber echten Sprechfunknachrichten liegt in ihrer Standardisierbarkeit. Sie erlaubt die Sicherstellung einer konstanten Beanspruchung über alle Testszenarien, erzeugt aufgrund ihrer inhaltlichen Neutralität keine Vorteile durch Wiedererkennung für die Experten, und ermöglicht eine exakte Leistungskontrolle. Außerdem bildet sie aus Sicht der menschlichen Informationsverarbeitung eine zur Sprechfunkbeanspruchung vergleichbare Aufgabe, indem sie eine über die gesamte Präsentationsdauer andauernde auditive Aufmerksamkeitszuweisung sowie Ressourcen der phonologischen Schleife erfordert und keinen visuellen Wahrnehmungsanteil beinhaltet. Zudem kann die Leistungsüberprüfung parallel und ohne Interferenz mit der Hauptaufgabe erfolgen. Dazu werden dem Probanden vor Beginn einer jeden Szenariendarbietung zwei zweistellige Zielziffern genannt, als z.B. eins und fünf sowie sieben und drei. Während der Szenarienspieldauer von 10 s werden 12 durch einen Sprachgenerator erzeugte Ziffern zwischen eins und neun in randomisierter Abfolge abgespielt. Die jeweilige Ziffernfolge kann keinen, einen, zwei oder drei Zielreize enthalten. Für den Probanden gilt es immer dann ein „ja“ zu verbalisieren, wenn die beiden Ziffern eines der beiden Zielreize direkt aufeinander auftreten. Obigem Beispiel folgend ist dies also der Fall, wenn entweder die beiden Ziffern eins und fünf oder sieben und drei präsentiert werden. Bei Vorliegen einer umgekehrten Reihenfolge, wie z.B. fünf und eins oder drei und sieben, sowie einer etwaigen Kombination wie z.B. fünf und sieben ist keine Reaktion erwartet. Zur Vermeidung von Lerneffekten werden für jedes Szenario zwei neue zweistellige Zielziffern genannt. Der Versuchsleiter verfügt über ein entsprechendes Lösungsschema mit dessen Hilfe die Richtigkeit der Reaktion überprüft wird. Nach der Bearbeitung des zweiten Testteils erhält der Proband nochmals einen NASA TLX Fragebogen

zur Ermittlung der **Beanspruchung unter Zusatzaufgabenbedingung**. Anschließend wird mit der Übungsphase für das nächste Anzeigekonzept fortgefahren. Der Ablauf von der Übungsphase an wird für jedes Anzeigekonzept und damit insgesamt **viermal wiederholt**. Nach Beendigung des letzten Testdurchlaufes erhalten die Probanden einen **Abschlussfragebogen**. Er dient der Erhebung einer zusammenfassenden Einschätzung durch die Probanden, indem die Anzeigen unter Angabe der Gründe in eine Rangreihe zu bringen sind. Die Experten werden noch einmal hinsichtlich ihrer Einstellungen gegenüber 2D, technischen Neuerungen und Einstellung gegenüber 3D Anzeigen für Flugsicherungszwecke befragt. Insgesamt beträgt die Teilnahmedauer für jeden Probanden rund vier Stunden. Die Erfassung der kognitiven Leistungsmaße findet in einer separaten Sitzung mit den beiden Laiengruppen statt. Diese erfordert rund zwei Stunden. Eine diesbezügliche Teilnahme durch Fluglotsen und Piloten erübrigt sich, da sie durch die gängigen Berufseignungstests bereits entsprechend hohe Leistungswerte nachgewiesen haben.

5.3 Ergebnisse & Interpretation

5.3.1 Vorgehensweise

Der Reihenfolge der Fragestellungen folgend, siehe Kapitel 5.1, Seite 56, wird mit der Analyse der Einflüsse von Szenarien- und Situationsmerkmalen, den Auswirkungen ihrer Ausprägungen, sowie den Wechselwirkungen zwischen diesen begonnen. Darauf folgen Anzeige- und Personmerkmalsanalysen. Diese Reihenfolge begründet sich dadurch, dass innerhalb der Szenarienmerkmale eine Vielzahl an Faktorstufen vorliegt, deren wechselseitige Abhängigkeiten untereinander sowie mit den Ausprägungen der Situationsvariation hinsichtlich der Leistung mit den untersuchten Anzeigen zunächst geklärt werden sollen, bevor auf Unterschiede zwischen den Anzeigen und diesbezüglicher Wechselwirkungen mit Personmerkmalen eingegangen wird. Durch mehrere aufeinander aufbauende Analyseschritte kann die Anzahl der Stufen einzelner Faktoren, die weder untereinander noch mit anderen Faktoren Wechselwirkungen aufweisen, durch deren Zusammenfassung oder Ausschluss reduziert werden. Dies erleichtert die Durchführung und Interpretation der nachfolgenden Analyseschritte. So wird zunächst ein Überblick über das komplexe Wirkungsgefüge der Faktoren geschaffen, was durch eine von Beginn an reduzierte Vorgehensweise nicht möglich ist. Auf eine

erschöpfende Darstellung aller leistungsbezogenen Einzelergebnisse wird auf dieser Analyseebene verzichtet, und nur die für eine Entscheidung bezüglich Aggregierbarkeit, Ausschluss, oder getrenntem Analysebedarf relevanten Befunde dargelegt. Dadurch wird sichergestellt, dass die Ergebnisse der nachfolgenden Analyseschritte nicht durch Interaktionen auf höheren Ebenen beeinflusst und relevante Effekte maskiert werden. Tabelle 5-4 liefert einen Überblick über die Faktoren, die der Abbildung der Analysekategorien dienen, sowie deren Ausprägungen, die systematischen Variationen unterzogen werden.

Tabelle 5-4: Kategorisierung systematisch variiertter Faktoren und deren Ausprägungen

Kategorie	Faktor	Ausprägungen
Szenarienmerkmale	Dimension	horizontale bzw. vertikale Separation / Konflikt
	Konvergenz- & Ansichtswinkel	0° / 90° / 180° jeweils orthogonal, parallel bzw. diagonal zur Sichtlinie
	vertikale Bewegung	keine, eines sinkt, beide sinken, eines steigt & eines sinkt, beide steigen, eines steigt
Situationsmerkmale	Sprechfunkbelastung	mit bzw. ohne auditive Zusatzaufgabe
Anzeigemerkmale	Anzeigeconcept	2D / 3Ds / 3DoL / 3DmL
Personmerkmale	Probandengruppe	Lotse / Pilot / Laie mit bzw. ohne Training

5.3.2 Stichprobenbeschreibung

Die nachfolgenden Befunde basieren auf einer Stichprobe von insgesamt 48 Probanden, die sich aus vier gleich großen Gruppen zusammensetzt. Bei den Fluglotsen handelt es sich um aktiv tätige und erfahrene Lotsen mit einer durchschnittlichen Berufserfahrung von 13,3 Jahren ($\sigma_n=1,9$). Auch bei den Piloten handelt es sich um aktiv tätige und erfahrene Probanden mit einer durchschnittlichen Berufserfahrung von 17,4 Jahren ($\sigma_n=2,3$). Jeweils acht Probanden der beiden Laiengruppen haben ein technisches oder naturwissenschaftliches Studium absolviert. Das durchschnittliche Alter der Probanden betrug zum Untersuchungszeitpunkt im Falle der Fluglotsen 36,4 Jahre ($\sigma_n=2,3$), das der Piloten 44,5 Jahre ($\sigma_n=2,5$), und das der trainierten bzw. untrainierten Laien 26,3 Jahre ($\sigma_n=1,2$) bzw. 30,6 Jahre ($\sigma_n=2,5$). Von den Fluglotsen sind zwei, von den Piloten keiner, und von den trainierten bzw. untrainierten Laien drei bzw. vier Pro-

banden weiblich. Bis auf die Piloten, von denen drei mehr als viermal innerhalb von 12 Monaten vor der Durchführung der vorliegenden Untersuchung an einem Experiment teilgenommen haben, nahm keiner der Probanden mehr als zweimal an einem Experiment teil. Jeweils zwei trainierte Laien und Piloten haben in diesem Zeitraum ein- bis zweimal an einem Virtual Reality Experiment teilgenommen. Bei den untrainierten Laien waren es drei Personen mit einer Häufigkeit von ein- bis zweimal. Von den Fluglotsen nahm niemand an einer Virtual Reality Untersuchung teil. 45 der Probanden gaben an, ziemlich oder außerordentlich routiniert im Umgang mit der PC-Maus zu sein. Alle Probanden die eine Sehschwäche besitzen verwendeten zum Testzeitpunkt eine entsprechende Sehhilfe. 45 der Probanden benutzen seit mindestens sechs Jahren regelmäßig einen Computer und arbeiteten im Mittel insgesamt rund 30 Stunden pro Woche damit. Die Probanden der beiden Laiengruppen beschäftigen sich zum Untersuchungszeitpunkt im Mittel etwa einmal pro Monat mit Computerspielen, wohingegen Piloten tendenziell nie, und Fluglotsen rund ein bis zweimal monatlich spielen. Dabei handelt es sich stets um Fahr- oder Flugsimulatoren, die bis zu fünf Stunden pro Woche gespielt wurden. 16 der 48 Probanden gaben an bereits Erfahrung mit Virtual Reality gesammelt zu haben. Davon ist einer Fluglotse, fünf Piloten, acht trainierte, sowie zwei untrainierte Laien. Lediglich vier dieser Probanden erwarben diese Erfahrung durch Spiele, die anderen durch Programmiertätigkeiten oder Teilnahmen an Technikdemonstrationen. Die angegebenen Erfahrungen wurden in einem Zeitraum von rund ein bis zwei Jahren vor der Untersuchungsteilnahme mit einem Umfang von bis zu fünf Stunden pro Woche erworben.

Bezüglich der Einstellungen und Persönlichkeit der Probanden zeigt sich folgendes (vgl. Anhang 7.4, Tabelle 7-36, Seite 214): Insgesamt weisen alle Probanden eine ziemlich ausgeprägte Technikorientierung auf. Die trainierten und untrainierte Laien zeigen ähnliche Werte auf der Testskala, die von eins (gar keine Technikorientierung) bis fünf (außerordentliche Technikorientierung) reicht. Piloten und Fluglotsen weisen eine etwas geringere Technikorientierung auf als die Laien, neigen also weniger dazu, ihnen unbekannte Funktionen spielerisch auszuprobieren. Ein ähnlich homogenes Bild zeigt sich hinsichtlich der Geschwindigkeits- und Genauigkeitsorientierung, die auf einer Skala von eins (gar nicht) bis vier (sehr stark) erhoben wurde und auf mittlerem Niveau liegt, sowie bezüglich der Handlungsorientierung, derer eine Skala von eins bis zwölf zugrunde liegt,

und mit Werten im oberen Viertel auf eine vergleichsweise hohe Handlungsorientierung der Probanden hindeutet. Des Weiteren zeigen die Probanden ein homogenes Bild mit einer tendenziellen Neigung zur Hoffnung auf Erfolg, die, ebenso wie die Furcht vor Misserfolg, auf einer Skala von eins (überhaupt nicht) bis vier (völlig) erfasst wurde. Während die Probanden der beiden Laiengruppen auch bezüglich der Furcht vor Misserfolg eine mittlere Ausprägung angeben, zeigen Fluglotsen und Piloten deutlich geringere Werte. Sie neigen also eher dazu, auch schwierige Aufgaben bedenkenlos anzugehen. Ein ebenso homogenes Bild mit einer durchschnittlichen Ausprägung zeigen die Probanden bezüglich ihrer Persönlichkeitseigenschaften Extraversion, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit und Offenheit. Im Hinblick auf die Neurotizismuswerte zeigen sich höhere Angaben der beiden Laiengruppen im Vergleich zu den Fluglotsen und Piloten. Am stärksten ausgeprägt ist dieser im Falle der untrainierten Laien. Die Laien dieser tendieren damit eher als Fluglotsen und Piloten dazu, in beanspruchenden Situationen angespannt und nervös zu reagieren.

Hinsichtlich der kognitiven Leistung der beiden Laiengruppen zeigt sich ein ebenso homogenes Bild wie bei den Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmalen. So ähneln sich ihre Leistungen in den Messungen zur selektiven und geteilten Aufmerksamkeit, kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit, zentralen Exekutive, phonologischen Schleife, wie auch dem Formgedächtnisaspekt des visuell-räumlichen Notizblockes. Unterschiede zeigen sich hinsichtlich der räumlichen Orientierungsleistung und dem Positionsgedächtnisaspekt des visuell-räumlichen Notizblockes, bei denen die trainierten Laien geringere Leistungswerte zeigen als die Vergleichsgruppe (vgl. Anhang 7.4, Tabelle 7-37, Seite 215).

5.3.3 Szenarienmerkmale

In diesem Kapitel wird der Frage nachgegangen, ob sich die Leistung bei der Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen zwischen den Anzeigen in Abhängigkeit von für den Anflugkontrollbereich relevanten Aufgabenmerkmalen unterscheidet (Frage a, Kapitel 5.1, Seite 56). Auf dieser Analyseebene werden die Auswirkungen der Bedingungsvariation der Faktoren Konvergenzwinkel, vertikale Bewegung und Dimension, sowie eine Analyse der Einflüsse von Ansichtswinkelvariationen betrachtet. Die im Rahmen der Szenarienentwicklung geschilderte Abstufung der Separationsdistanzen findet an dieser Stelle keine Berücksichtig-

ung, da es sich um eine quantitative Faktorvariation handelt und nicht, wie bei den anderen Stufen der Szenarienmerkmale, um qualitativ unterschiedliche Merkmalsausprägungen. Die Einflüsse des Dimensionsfaktors werden in Form separater Analysen ermittelt, da keine Fälle mit horizontaler Separation innerhalb der 180° Konvergenzwinkelbedingung existieren (vgl. Tabelle 5-1, Seite 65) und aufgrund dessen keine Messwiederholung über alle Szenarienmerkmale möglich ist. Darüber hinaus wurde in den meisten Bedingungen auf eine vollständige Variation der vertikalen Bewegungsbedingungen verzichtet, wodurch sich entsprechende Einschränkungen ergeben. Der Einfluss von Situationsmerkmalen wird an dieser Stelle nicht untersucht und nur die Situationsbedingung ohne auditive Zusatzaufgabe betrachtet, innerhalb derer eine umfassendere Szenarienmerkmalsvariation durchgeführt wurde.

Erster Analyseschritt - Konvergenzwinkel und vertikale Bewegung

Die Einflüsse der Bedingungsvariationen des Konvergenzwinkels und der vertikalen Bewegung werden mit einer vierfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ermittelt. Innersubjektfaktoren bilden die drei Szenarienmerkmale Konvergenzwinkel, vertikale Bewegung und Anzeigeformat, auf dem die Messwiederholung stattfand. Etwaige Wechselwirkungen mit dem Faktor Probandengruppe werden durch die Aufnahme der Gruppenzugehörigkeiten als Zwischensubjektfaktor in das Analysemodell bestimmt. Es werden also alle drei Konvergenzwinkelbedingungen 0°, 90° und 180°, sowie alle vier vertikalen Bewegungsbedingungen keine, gegenläufige und gleichsinnig steigende vertikale Bewegungen, sowie die Steigbewegung eines Objektes betrachtet. Zur Ermittlung der Variationsauswirkungen auf die Leistung mit den Konzepten werden alle vier Anzeigen 2D, 3Ds, 3DoL, und 3DmL analysiert, und die Leistungen aller vier Probandengruppen Laien mit bzw. ohne Training, Piloten und Fluglotsen verglichen. Abhängige Variable bilden sowohl die Konflikt- als auch die Beobachtungszeiturteile. Aufgrund der Datenstruktur, in der lediglich innerhalb der Konfliktbedingung alle Konvergenzwinkel und vertikalen Objektbewegungen vollständig dargeboten wurden, bezieht sich diese Analyse ausschließlich auf diese Fälle. Horizontale und vertikale Separationsfälle werden in einem späteren Analyseschritt untersucht. Verletzung der Sphärizitätsannahme werden stets durch die konservativeren Signifikanz- und Effekstärkewerte ausgeglichen, die auf dem Verfahren zur

Korrektur von Freiheitsgraden nach Greenhouse-Geisser basieren. Es zeigen sich die folgenden Ergebnisse (vgl. Tabelle 7-1, Seite 174 bis Tabelle 7-5, Seite 178): Sowohl die Variation des Konvergenzwinkels als auch der vertikalen Bewegung zeigen bezüglich beider abhängiger Variable statistisch bedeutsame Unterschiede (vgl. Tabelle 7-2, Seite 175). Zur Vereinfachung werden die Werte der Konflikturteile im Ergebnisteil lediglich als Urteilsleistung ausgewiesen. Deren Bedeutung hinsichtlich Entscheidungssicherheit, Situationsbewusstsein sowie Effektivität und Effizienz werden anschließend im Interpretationsteil erläutert. Mit den beiden Konvergenzwinkelbedingungen 0° und 180° werden generell höhere Urteilsleistungs- (%) und Zeiturteilstwerte (τ) erzielt ($75,4\%$; $\tau=2,76$ bzw. $76,8\%$; $\tau=2,75$) als in der 90° -Bedingung ($71,2\%$; $\tau=2,61$). Paarweise Vergleiche zeigen, dass sowohl die Urteilsleistung als auch die Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit innerhalb der 90° Bedingung signifikant geringer ausfallen als bei 0° und 180° , die sich statistisch nicht voneinander unterscheiden. Das Ausbleiben vertikaler Objektbewegungen führt zu den größten Urteilsleistungs- und Zeitwerten ($87,1\%$; $\tau=3,19$), gefolgt von gleichsinnig steigenden Objektbewegungen ($86,2\%$; $\tau=2,98$), einem steigenden Objekt ($65,0\%$; $\tau=2,36$) und gegenläufigen vertikalen Bewegungen ($59,6\%$; $\tau=2,29$). Paarweise Vergleiche zeigen, dass sich, bis auf die gleichsinnigen Vertikalbewegungen (keine vertikale Bewegung bzw. beide Objekte steigen) im Falle der Urteilsleistung, alle der Bedingungen voneinander unterscheiden. Zwischen den beiden Faktoren Konvergenzwinkel und vertikale Objektbewegung liegt ein hybrider Interaktionseffekt bezüglich der Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit vor, der eine globale Interpretation der vertikalen Bewegung zulässt, nicht jedoch des Konvergenzwinkels (siehe Abbildung 7-1, Seite 179). Dies bedeutet, dass bei gleichsinnigen vertikalen Objektbewegungen die Beobachtungszeit ($\tau=3,08$) als angemessener empfunden wird als bei ungleichsinnigen Vertikalbewegungen ($\tau=2,33$). Im Rahmen erstgenannter führt die 90° Konvergenzwinkelbedingung zu einer Verringerung der Zeiturteilstwerte ($\tau=2,88$) verglichen mit den Konvergenzwinkelbedingungen 0° ($\tau=3,15$) und 180° ($\tau=3,22$), wohingegen letztgenannte zu ähnlichen Zeiturteilen in allen Konvergenzwinkelbedingungen führen ($\tau=2,33$; $\tau=2,36$; $\tau=2,28$). Zwischen den Stufen des Faktors Anzeigezept zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Urteilsleistung bei Konfliktsituationen. Die Probandengruppen hingegen unterscheiden sich signifikant hinsichtlich ihrer Beobachtungs-

zeiturteile. Unabhängig von der Variation der Szenarienmerkmale und Anzeigekonzepte geben Laien mit Training signifikant höhere Zeiturteile ab ($\tau=3,02$) als Laien ohne Training ($\tau=2,51$) und Piloten ($\tau=2,49$), nicht jedoch im Vergleich zu Fluglotsen ($\tau=2,81$). Alle anderen Paarvergleiche weisen keine statistisch bedeutsamen Mittelwertunterschiede auf. Zwischen dem Konvergenzwinkel sowie den Faktoren Anzeigekonzept und Probandengruppe zeigen sich signifikante Interaktionseffekte. Der Konvergenzwinkel führt im Zusammenhang mit der Probandengruppe zu einer hybriden Wechselwirkung bezüglich der Urteilsleistung (siehe Abbildung 7-2, Seite 179), und im Zusammenhang mit dem Anzeigekonzept zu einer hybriden Wechselwirkung bezüglich der Beobachtungszeit (siehe Abbildung 7-3, Seite 179). Beide erlauben eine globale Interpretierbarkeit des Konvergenzwinkelfaktors, womit die 90° Konvergenzwinkelbedingung, unabhängig von Anzeigekonzept und Probandengruppe, stets zu geringeren Werten führt als die 0° und 180° Bedingung. Zwischen den Anzeigekonzepten hingegen wirken sich die Konvergenzwinkelvariationen unterschiedlich auf die Zeiturteile aus. Innerhalb der 0° und 90° Bedingung zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede. Sie fallen jeweils kleiner als der mittlere Standardfehler der Vergleichswerte aus. Innerhalb der 180° Bedingung hingegen resultieren, verglichen mit den beiden Vogelperspektiven 3DoL ($\tau=2,68$) und 3DmL ($\tau=2,68$), höhere Beobachtungszeiturteile in Verbindung mit den beiden Draufsichten 2D ($\tau=2,84$) und 3Ds ($\tau=2,80$). Die vergleichsweise geringen Urteilsunterschiede spiegeln sich in einer geringen Effektstärke wieder ($n^2=.07$). Zwischen den Probandengruppen führt die Konvergenzwinkelvariation dazu, dass die höchsten Urteilsleistungen bei einem Winkel von 0° von den Fluglotsen erzielt werden (83,0%). Die Vergleichsgruppen zeigen geringere Werte (72,9%) und unterscheiden sich nicht nennenswert untereinander (Range=3,7%). Innerhalb der 90° Bedingung zeigen sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den vier Gruppen (71,2%; Range=4,3%). Im Falle von 180° zeigen die Laien mit Training geringere Werte (73,9%) als die Vergleichsgruppen, innerhalb derer vergleichsweise homogene Werte vorliegen (77,8%; Range=0,4%). Die Effektgröße der Wechselwirkung zwischen Konvergenzwinkel und Probandengruppe fällt größer aus ($n^2=.307$) als die des Interaktionseffektes zwischen Konvergenzwinkel und Anzeigekonzept. Am stärksten wiegt dabei die hohe Urteilsleistung der Lotsen innerhalb der 0° Bedingung, sowie die geringe Leistung der trainierten Laien bei 180°. Die Variation

der vertikalen Bewegungsbedingung führt, im Gegensatz zu den oben dargestellten Interaktionen, zu keinen Wechselwirkungen mit den Faktoren Probandengruppe und Anzeigeformat. Tabelle 5-5 liefert eine Ergebnisübersicht.

Tabelle 5-5: Übersicht über die Ergebnisse des 1. Analyseschrittes: Konvergenzwinkel und vertikale Objektbewegung. • = signifikanter Effekt. □ = n.s. ≈ wenn Differenz ≤ als durchsch. Standardabweichung der Vergleichswerte

Faktor(en)	Urteilsleistung (η^2)	Beobachtungszeit (η^2)	Analyseergebnisse *
Konvergenzwinkel	• .770	• .762	$0^\circ = 180^\circ > 90^\circ$
vertikale Bewegung	• .327	• .179	Sicherheit: $\leftarrow = \Downarrow > \downarrow > \Downarrow$ Zeit: $\leftarrow > \Downarrow > \downarrow > \Downarrow$
Konvergenzwinkel × vertikale Bewegung	□	• .221	gleich: $0^\circ \approx 180^\circ > 90^\circ$ ungleich: $0^\circ \approx 180^\circ \approx 90^\circ$
Probandengruppe	□	• .232	t.Laien = Lotsen > u.Laien = Piloten
Konvergenzwinkel × Probandengruppe	• .307	□	0° : Lotsen > t.Laien \approx Piloten \approx u.Laien 90° : Piloten \approx Lotsen \approx t.Laien \approx u.Laien 180° : u.Laien \approx Piloten \approx Lotsen > t.Laien
Konvergenzwinkel × Anzeigeformat	□	• .070	0° : 3DoL \approx 3Ds \approx 3DmL \approx 2D 90° : 3Ds \approx 2D \approx 3DoL \approx 3DmL 180° : 2D \approx 3Ds > 3DmL \approx 3DoL

* der Faktor Anzeigeformat führt zu keinem signifikanten Haupteffekt

Zusammenfassung der Konvergenzwinkel- und vertikalen Bewegungsanalyse: Unabhängig von Anzeigeformat und Probandengruppe fallen sowohl die mittlere Urteilsleistung als auch die durchschnittliche Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit am geringsten in der 90° Bedingung aus. Zwischen den beiden Konvergenzwinkelbedingungen 0° und 180° bestehen keine bedeutsamen Unterschiede. Im Gegensatz zu vertikalen Objektbewegungsvariationen, die stets zu höheren Werten bei gleichsinnigen Verläufen führen, resultieren Variationen des Konvergenzwinkels nicht nur in unterschiedlich Urteilstwerten zwischen den Ausprägungen der Szenarienmerkmale, sondern auch zwischen den Anzeigen und Probandengruppen. Ohne Differenzierung zwischen den Konvergenzwinkelbedingungen führen weder die Wahl der Anzeige noch der Einsatz unterschied-

licher Probandengruppen an sich, mit Ausnahme der Beobachtungszeiturteile, zu bedeutsamen Leistungsunterschieden bei der Einschätzung von Konfliktfällen.

Zweiter Analyseschritt - Dimension

Ausgehend von den Resultaten des ersten Analyseschrittes geschieht die Einflussanalyse des Dimensionsfaktors ausschließlich auf Basis der 90° Konvergenzwinkelbedingung, die in allen drei Dimensionsbedingungen sowohl vertikal gleich- als auch ungleichsinnige Objektbewegungen aufweist, und, aufgrund der präzisen Unterscheidbarkeit in vertikale und horizontale Separationsfälle, eine perfekte experimentelle Kontrolle der Dimensionsausprägungen erlaubt. Von einer vollständigen Zusammenfassung der vertikalen Bedingungen wird in diesem Analyseschritt abgesehen, da die Untersuchung von Einflüssen der Dimensionsvariation Wechselwirkungen mit der Variation der vertikalen Bewegungsbedingungen aufweisen könnte, die ansonsten unentdeckt blieben. Zur Vereinfachung der Analyseprozedur und der Ergebnisinterpretation gehen die vertikalen Bewegungsbedingungen, aufgrund der Befunde des vorangegangenen Analyseschrittes, lediglich als zweistufiger Faktor mit den beiden Ausprägungen gleich- und ungleichsinnige vertikale Objektbewegungen in das Modell ein. Erstere beinhaltet die beiden Bedingungen, in denen keine vertikalen Bewegungen stattfinden bzw. beide Objekte sinken, letztere die beiden Bedingungen in denen ein Objekt sinkt bzw. gegenläufige vertikale Objektbewegungen vorliegen. Zusammen mit den beiden Faktoren Dimension und Anzeigezept als weitere Innersubjektfaktoren und der Probandengruppe als Zwischensubjektfaktor wird eine vierfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Abhängige Variable bilden erneut die Zeiturteile und die Urteilsleistung. Die Analyse zeigt folgende Befunde, die bei Bedarf nach dem Korrekturverfahren von Greenhouse-Geisser korrigiert wurden (vgl. Tabelle 7-6, Seite 180 bis Tabelle 7-9, Seite 185).

Sowohl zwischen den Stufen der Dimensionsbedingungen als auch der vertikalen Bewegungsbedingung zeigen sich signifikante Unterschiede, sowie eine statistisch bedeutsame Wechselwirkung zwischen diesen beiden Faktoren, die sich auf beide abhängige Variable beziehen. Die hybride Interaktion erlaubt eine globale Interpretation des Faktors Dimension, nicht jedoch der vertikalen Bewegung (siehe Abbildung 7-4, Seite 182). So gehen mit vertikalen Separationsfällen sowohl bei vertikal gleich- als auch ungleichsinnigen Objektbewegungen stets die

höchsten Werte einher (96,5% bzw. 85,7%; $\tau=3,98$ bzw. $\tau=3,59$). Innerhalb horizontaler Separationsfälle zeigen sich geringere Unterschiede zwischen den beiden vertikalen Bewegungsbedingungen (58,7%; $\tau=2,58$ bzw. 61,5%; $\tau=2,58$) als auch bei vertikalen Separationsfällen und Konfliktfällen (82,9% bzw. $\tau=2,88$; 62,3% bzw. $\tau=2,35$). Bezüglich der Beobachtungszeit liegt ein bedeutsamer Interaktionseffekt zwischen Dimension, vertikaler Bewegung und Anzeigekonzept vor, der auf die unterschiedliche Auswirkungen verschiedener Szenarienmerkmalskombinationen auf die Zeiturteile mit den untersuchten Anzeigen hinweist (siehe Abbildung 7-5, Seite 183). Er äußert sich darin, dass die Stärke der Unterschiede aufgrund der vertikalen Bedingungsvariation, zusätzlich zu den oben berichteten Zeitunterschieden zwischen gleichsinnigen und ungleichsinnigen vertikalen Bewegungsbedingungen, die sich innerhalb der Konflikt- und vertikalen Separationsbedingung, nicht jedoch innerhalb der horizontalen Separationsbedingung zeigen, von dem jeweiligen Anzeigekonzept abhängt. So führt die vertikale Separationsbedingung in Verbindung mit allen Anzeigen und vertikalen Objektbewegungen stets zu den höchsten Beobachtungszeiturteilen. Ein Vergleich der Zeiturteilsunterschiede zwischen der vertikalen und der horizontalen Separationsbedingung zeigt, dass die Wertedifferenzen innerhalb der 3D Anzeigen sowohl bei gleich- wie auch ungleichsinniger Vertikalbewegung tendenziell stärker abfallen als mit 2D. Eine ähnliche Tendenz zwischen der vertikale Separations- und der Konfliktbedingung zeigt sich lediglich bei ungleichsinnigen Vertikalbewegungen, nicht aber bei gleichsinnigen vertikalen Bewegungen. Neben diesen Befunden treten signifikante Urteilsleistungsunterschiede zwischen den Anzeigekonzepten innerhalb der 90° Konvergenzwinkelbedingung auf, die unabhängig von den Ausprägungen der Szenarienmerkmale Dimension und vertikale Bewegung sowie der Probandengruppe sind. Mit 2D wird generell eine höhere Urteilsleistung erzielt (76,5%) als mit 3Ds (74,5%), 3DmL (74,3%) und 3DoL (73,1%), die sich untereinander nicht bedeutsam unterscheiden. Des Weiteren liegen auch in diesem Analyseschritt signifikante Gruppenunterschiede bezüglich der Beobachtungszeiturteile vor, die unabhängig von den Ausprägungen der Szenarienmerkmale Dimension und vertikale Bewegung sowie Anzeigekonzept sind. Der Reihenfolge nach zeigen die trainierten Laien die höchsten Zeiturteilswerte ($\tau=3,32$), gefolgt von Fluglotsen ($\tau=3,04$), untrainierten Laien ($\tau=2,83$) und Piloten ($\tau=2,77$). Paarweise Vergleiche zeigen signifikante Unterschiede zwischen

Laien mit und ohne Training sowie Piloten. Sie unterscheiden sich nicht signifikant von Lotsen, die sich wiederum nicht von den Vergleichsgruppen abheben.

Tabelle 5-6: Übersicht über die Ergebnisse des 2. Analyseschrittes: Dimension. • = signifikanter Effekt. □ = n.s. ≈ wenn Differenz ≤ als durchsch. Standardabweichung der Vergleichswerte

Faktor(en)	Urteilsleistung (η^2)	Beobachtungszeit (η^2)	Analyseergebnisse
Dimension	• .668	• .837	Sicher.: ver.Sep. > Kon. > hor.Sep. Zeit: ver.Sep. > Kon. = hor.Sep
vertikale Bewegung	• .875	• .743	gleich > ungleich
Dimension × vertikale Bewegung	• .544	• .394	Sicher., gleich: ver.Sep. > Kon. > hor.Sep. Sicher., ungleich: ver.Sep. > Kon. ≈ hor.Sep. Zeit, gleich: ver.Sep. > Kon. > hor.Sep. Zeit, ungleich: ver.Sep. > hor.Sep. > Kon.
Anzeigekonzept	• .126	□	2D > 3Ds = 3DoL = 3DmL
Probandengruppe	□	• .291	t.Laien = Lotsen Lotsen = u.Laien = Piloten t.Laien > u.Laien > Piloten
Dimension × vertikale Bewegung × Anzeigekonzept	□	• .081	gleich: ver.Sep. > Kon. > hor.Sep. ungleich: ver.Sep. > hor.Sep. > Kon. ungleich, hor.Sep: 2D ≈ 3Ds > 3DmL ≈ 3DoL

Zusammenfassung der Dimensionsanalyse: Vertikale Separationsfälle liefern unabhängig von Anzeigekonzept, Probandengruppe und vertikaler Bewegungsbedingung stets die höchsten Urteilsleistungs- wie auch Beobachtungszeitwerte. Zwischen Konflikt- und horizontalen Separationsfällen zeigen sich lediglich bezüglich der Zeiturteile Unterschiede zugunsten ersterer. Ungleichsinnige Vertikalbewegungen führen sowohl in der vertikalen Separations- als auch in der Konfliktbedingung zu geringeren Leistungs- und Zeiturteilswerten als gleichsinnige Bewegungen. Innerhalb der horizontalen Separationsbedingung hingegen scheint es zunächst keine nennenswerten Unterschiede aufgrund der Variation der vertikalen Bewegung zu geben. Die Wechselwirkung zwischen Anzeigekonzept, vertikaler Bewegung und Dimension weist jedoch auf ein komplexes Zusammenspiel zwischen diesen Faktoren hin, dessen Auswirkungen sich in einem Unterschied der Zeiturteile zwischen den beiden Draufsichten 2D und 3Ds und den beiden

Vogelperspektiven 3DoL und 3DmL bei horizontalen Separationsfällen äußert. Mit ersteren resultieren höhere Beobachtungszeitwerte als mit letzteren.

Dritter Analyseschritt - Ansichtswinkel

In diesem Analyseschritt werden die Einflüsse von Ansichtswinkelvariationen ermittelt. Dazu werden sowohl Konvergenzwinkel- wie auch Dimensionsbedingungen in die Analyse einbezogen. Aufgrund der unterschiedlichen Datenstruktur zwischen den drei Konvergenzwinkelbedingungen werden diese separat analysiert. Zunächst wird der Einfluss der Ansichtswinkelvariation innerhalb der 90° Bedingung und in Abhängigkeit von Konflikt-, vertikaler sowie horizontaler Dimension ermittelt. Anschließend wird diese Prozedur für die beiden Bedingungen 0° und 180° wiederholt. Dazu wird je eine Varianzanalyse durchgeführt. Da es sich beim Ansichtswinkel um eine innerhalb des Versuchsplans geschachtelte Variable handelt und jedem Probanden, abhängig von Konvergenzwinkel und vertikaler Bewegung, unterschiedliche Ansichtswinkel dargeboten wurden, für jeden Probanden aber stets über alle Anzeigekonzepte und Dimensionen konstant gehalten wurden, kann keine Messwiederholung auf den Faktoren Konvergenzwinkel und vertikale Bewegung stattfinden, jedoch auf den Faktoren Anzeigekonzept und Dimension. Abhängige Variable bilden die Urteilsleistung und die Zeiturteile. Auf eine Differenzierung zwischen unterschiedlichen Vertikalbewegungsbedingungen muss wegen der ansonsten zu geringen Fallzahl für eine Varianzanalyse verzichtet werden. Aufgrund der vollständigen Variation der Dimension sowie der separaten Analyse innerhalb einer jeden Konvergenzwinkelbedingung die, wie in den beiden vorangegangenen Analyseschritten erläutert, zu Wechselwirkungen mit der vertikalen Bewegungsvariation führen, kann die Zusammenfassung der vertikalen Bewegungsbedingungen als unproblematisch gelten. Es ist anzumerken, dass dadurch Ansichtswinkelunterschiede die sich z.B. bei ungleichsinnigen, nicht aber bei gleichsinnigen Vertikalbewegungen zeigen, aufgrund dessen unerkannt bleiben. Auf etwaige Unterschiede, die nicht in Zusammenhang mit der Ansichtswinkelvariation stehen, wird im Rahmen dieser Analyse nicht eingegangen, da diese bereits in den vorangegangenen Analyseschritten behandelt wurden.

Im Rahmen der ersten Analyse über die 90° Bedingung zeigt sich ein signifikanter disordinaler Interaktionseffekt zwischen den Ansichtswinkelbedingungen und den Anzeigekonzepten im Hinblick auf die Beobachtungszeit, der weder eine glo-

bale Interpretation des Faktors Anzeigekonzept noch des Ansichtswinkels erlaubt (vgl. Tabelle 7-10, Seite 186 bis Tabelle 7-12, Seite 188, sowie Abbildung 7-6, Seite 187). Mit den beiden Anzeigekonzepten 3DmL ($\tau=2,94$) und 3DoL ($\tau=2,89$) wird eine durchschnittlich 2,5% höhere Beobachtungszeit im Vergleich zu 3Ds ($\tau=2,85$) und 2D ($\tau=2,84$) angegeben, wenn sich die Objekte orthogonal bzw. parallel zur Sichtlinie des Betrachters bewegen. 3DmL unterscheidet sich dabei mit einem Zeiturteilsunterschied von 3,3% stärker von den beiden Draufsichten als 3DoL mit einem Unterschied von 1,6%. Liegen hingegen diagonale Bewegungsverläufe vor, zeigen sich mit den beiden Draufsichten 3Ds ($\tau=3,21$) und 2D ($\tau=3,08$) um 5,3% höhere Beobachtungszeiturteile als 3DmL ($\tau=3,01$) und 3DoL ($\tau=2,97$). Der signifikante Haupteffekt des Ansichtswinkels bezüglich beider abhängiger Variable weist auf die insgesamt um 6,4% höheren Zeiturteilstwerte ($\tau=3,07$ vs. $\tau=2,88$) sowie 3,5% höhere Urteilsleistungen (76,1% vs. 72,6%) in den diagonalen Bedingungen verglichen mit den orthogonalen bzw. parallelen Ansichtswinkelbedingungen hin. Da die Analyse der Ansichtswinkelvariation keine weiteren Wechselwirkungen aufweist, gelten die Befunde sowohl unabhängig von der Dimension als auch der Probandengruppe.

Die zweite Varianzanalyse für die Ermittlung des Einflusses der Ansichtswinkelvariation innerhalb der 0° Bedingung wird mit denselben Faktoren durchgeführt wie die vorige. Bezüglich der Ansichtswinkelvariation zeigen sich signifikante disordinale Wechselwirkungen sowohl mit dem Faktor Anzeigekonzept, als auch mit dem Faktor Dimension, die sich beide auf die Beobachtungszeiturteile beziehen und eine globale Interpretation der Faktoren verbietet (vgl. Tabelle 7-13, Seite 188 bis Tabelle 7-16, Seite 192, sowie Abbildung 7-7, Seite 190 und Abbildung 7-8, Seite 191). Die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen den Faktoren Ansichtswinkel und Anzeigekonzept zeigt, dass, wie innerhalb des 90° Konvergenzwinkels auch, in Verbindung mit orthogonalen bzw. parallelen Objektbewegungen geringere Zeiturteile ($\tau=3,45$) auftreten als mit diagonalen Bewegungen ($\tau=3,56$). Am größten fällt dieser Unterschied mit 2D aus ($\tau=3,35$ vs. $\tau=3,62$), gefolgt von 3DoL ($\tau=3,50$ vs. $\tau=3,58$), 3DmL ($\tau=3,43$ vs. $\tau=3,49$) und 3Ds ($\tau=3,53$ vs. $\tau=3,55$). Die Interaktion zwischen den Ansichtswinkelbedingungen und den Dimensionsbedingungen wirkt sich wie folgt aus: Während diagonale Bewegungsverläufe auf den Betrachter sowohl in der Konflikt- als auch in der vertikalen Separationsbedingung im Mittel höhere Urteilstwerte mit sich bringen

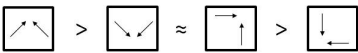




















($\tau=3,47$) als in der diagonal vom Beobachter entfernenden Bedingung ($\tau=3,16$), zeigt sich eine umgekehrte Befundlage in der horizontalen Separationsbedingung. Dort führt die Ansichtswinkelbedingung in der sich die beiden Objekte diagonal vom Beobachter entfernen zu höheren Zeiturteilswerten ($\tau=4,27$) als in der sich diagonal zum Betrachter annähernde Bedingung ($\tau=3,82$). Der signifikante Haupteffekt des Ansichtswinkels bezüglich der Urteilsleistung weist auf eine generell höhere Urteilssicherheit in Verbindung mit den diagonalen Bedingungen (87,4% von unten links bzw. 92,5% von oben rechts) hin, als mit den orthogonalen (84,7%) bzw. parallelen Bewegungsbedingungen (85,6%).

Da keine horizontalen Separationsfälle innerhalb 180° Bedingung vorliegen, gehen in die dritte Varianzanalyse zur Ermittlung der Ansichtsvariationseffekte innerhalb der 180° Bedingung lediglich Konflikt- und vertikale Separationsfälle ein. Die Ansichtswinkelvariation erzeugt einem Effekte bezüglich der Urteilsleistung und weist auf bedeutsam höhere Werte in den diagonalen Bedingungen (81,6% von unten links bzw. 91,2% von oben rechts) verglichen mit den orthogonalen (80,8%) bzw. parallelen Bewegungsbedingungen (79,2%) hin. Das Ausbleiben bedeutsamer Wechselwirkungen zeigt, dass der obige Effekt unabhängig von Anzeige und Probandengruppe auftritt (vgl. Tabelle 7-17, Seite 193 bis Tabelle 7-19, Seite 193).

Zusammenfassung der Ansichtswinkelanalyse: Bei einem Konvergenzwinkel von 90° führen parallel bzw. orthogonal zur Sichtlinie des Betrachters verlaufende Objektbewegungen zu günstigeren Zeiturteilen bei den Konzepten 3DoL und 3DmL im Vergleich zu den beiden Draufsichten 2D und 3Ds. Dieser Befund kehrt sich bei Vorliegen diagonalen Objektbewegungen um, bei welchen die beiden Draufsichten 2D und 3Ds zu größeren Zeiturteilswerten führen. Bei einem Konvergenzwinkel von 0° hingegen werden dann höhere Zeiturteile mit den Vogelperspektiven angegeben, wenn sich die Objekte diagonal bewegen, was hauptsächlich für Konflikt- und vertikale Separationsfälle gilt. Innerhalb der 180° Konvergenzwinkelbedingung führen Variationen des Ansichtswinkels zu keinen nennenswerten Effekten zwischen den Anzeigen. In allen drei Konvergenzwinkelbedingungen zeigen sich Einflüsse der Ansichtswinkel auf die Urteilsleistungen, wobei diagonale stets zu höheren Werten führen als orthogonale/parallele Bewegungsverläufe. Dieser Befund ist unabhängig vom gewählten Anzeigekonzept. Des

Weiteren gelten alle Befunde der Ansichtswinkelanalyse als unabhängig von der Probandengruppe und weisen vergleichsweise kleine Effektstärken auf.

Tabelle 5-7: Übersicht über die Ergebnisse des 3. Analyseschrittes: Ansichtswinkel. • = signifikanter Effekt. □ = n.s. ≈ wenn Differenz ≤ als durchsch. Standardabweichung der Vergleichswerte

Faktor(en)	Urteilsleistung (η^2)	Beobachtungszeit (η^2)	Analyseergebnisse
90° Ansichtswinkel × Anzeigekonzept	□	• .062	orthogonal/parallel: 3DmL > 3DoL ≈ 3Ds ≈ 2D diagonal: 3Ds ≈ 2D > 3DmL ≈ 3DoL
90° Ansichtswinkel	• .057	• .068	
0° Ansichtswinkel × Anzeigekonzept	□	• .039	orthogonal/parallel: 3Ds > 3DoL ≈ 3DmL ≈ 2D diagonal: 2D > 3DoL > 3DmL > 3Ds
0° Ansichtswinkel × Dimension	□	• .063	Konflikt:  >  ≈  ≈  ver.Sep.:  >  ≈  ≈  hor.Sep.:  >  ≈  > 
0° Ansichtswinkel	• .083	□	 >  >  > 
180° Ansichtswinkel	• .088	□	 >  ≈  ≈ 

Interpretation zu den Befunden der Szenarienmerkmalsanalyse

Die generell geringeren Urteilsleistungs- und Beobachtungszeurteile bei rechtwinkligen **Konvergenzwinkeln** sowie das Ausbleiben diesbezüglicher Unterschiede innerhalb der 0° und 180° Bedingungen lassen sich durch die höheren Anforderungen an die Informationsverarbeitung bei 90° Fällen erklären. Während die Bestimmung der Trajektorienverläufe bei 180° Konvergenzfällen lediglich die mentale Integration von Objekthöhen und lateralen Positionsverläufen erfordert, sind in den 0° und 90° Bedingungen zusätzlich die Objektgeschwindigkeiten einzubeziehen. Innerhalb der 0° Bedingung erlaubt der Vergleich beider Geschwindigkeitswerte vermutlich aufgrund der nahezu identischen Flugrichtungen und der geringen räumlichen Ausgangsdistanz zwischen den beiden Objekten eine vergleichsweise schnelle Einschätzung des Annäherungsverhaltens. In der 90° Bedingung hingegen dürfte eine erheblich länger andauernde Beobachtungszeit zur Extrapolation der Trajektorienverläufe erforderlich sein um einen etwaigen

Schnittpunkt zu bestimmen. Der Grund für diese Annahme liegt darin, dass die Objekte zum einen eine größere Distanz zueinander aufweisen und die Integration von Objekthöhen und lateralen Positionsverläufen gleichzeitig den Einbezug der zeitlichen Komponente erfordert. Somit gehen mit rechtwinkligen Konvergenzwinkeln eine geringere Urteilsleistung und ein höherer zeitlicher Ressourcenaufwand einher als mit 180° bzw. 0° Fällen. Rechtwinklige Konstellationen stellen daher besonders hohe Anforderungen an die Operateure. Sie führen zu einer geringeren Entscheidungssicherheit als stumpf- und spitzwinkligere Konvergenzfälle, und stellen daher höhere Anforderungen an das Situationsbewusstsein.

Auch die Resultate der **vertikalen Bewegungsanalyse** sind durch Anforderungsunterschiede an die erforderlichen Informationsverarbeitungsprozesse begründbar. Die gleichsinnigen vertikalen Bewegungen dürften deshalb geringere zeitliche Ressourcen erfordern und zu einer höheren Urteilsleistung führen, weil aufgrund der stets gleichförmigen Veränderungsrate lediglich die Ausgangswerte verglichen werden müssen. Dies bindet offenbar geringere zeitliche Ressourcen, die für die Extrapolation der lateralen Trajektorien genutzt werden können. In der Realität dürften jedoch häufiger ungleiche Veränderungsraten vorliegen, die einen höheren kognitiven Ressourcenaufwand erfordern, da, über den Vergleich der beiden Höhenangaben und die Beobachtung eines einzigen Veränderungszyklusses hinaus, eine Abschätzung des Resultates der Veränderungsraten über die gesamte Szenariendarbietungsdauer erforderlich ist. Gleichsinnige Vertikalbewegungen hingegen bedingen lediglich die Wahrnehmung der zeitlichen Werteveränderung und erfordern keine mentalen Kalkulationsprozesse. Die geringeren Anforderungen an die Informationsverarbeitung schlagen sich folglich bei gleichsinnigen Vertikalbewegungen in höheren Zeiturteilen nieder, die wiederum für die höheren Urteilsleistungswerte verantwortlich gemacht werden können. Der Befund, dass sich ungleiche Vertikalbewegungen bei allen Konvergenzwinkelbedingungen ähnlich negativ auf die erforderliche Beobachtungsdauer auswirken und sich gleichsinnige Vertikalbewegungen in den beiden Bedingungen 0° und 180° weniger gravierend auswirken als bei 90° , lässt sich durch die generell hohen Informationsverarbeitungsanforderungen durch den notwendigen Einbezug der Zeitkomponenten in die Extrapolation der Trajektorienverläufe bei rechtwinkligen Fällen erklären. Separationsentscheidungen erfordern also bei Vorliegen ungleichsinniger Vertikalbewegungen einen erheblich höheren zeitlichen Ressour-

cenaufwand und führen sowohl zu geringeren Urteilsleistungen als auch Entscheidungssicherheiten als gleichsinnige Bewegungsverläufe. Erstere stellen daher auch höhere Anforderungen an die Operateure als Letztere.

Die vorliegenden Effekte aufgrund der Variation der **Dimension** weisen darauf hin, dass die Schnittpunktbestimmung auf der vertikalen Ebene vorwiegend auf Basis der numerischen Werteangaben im Label geschieht. So treten bei vertikalen Separationsbedingungen innerhalb der 90° Bedingung größere Urteilsleistungs- und Beobachtungszeiturteile auf als in der horizontalen Separationsbedingung, innerhalb derer keine zur grafischen Anzeige redundante Informationsbasis existiert. Des Weiteren wird diese Annahme dadurch gestützt, dass die Konfliktfälle in fast allen Bedingungen Urteilsleistungs- und Beobachtungszeitwerte liefern, die zwischen denen der beiden Separationsbedingungen liegen. Zwar ist weder bei Konflikt- noch bei horizontalen Separationsfällen ein ausschließlich auf den numerischen Höhenangaben basierendes Urteil möglich, da die Objekte gemäß der Definition von Konflikt- bzw. horizontalem Separationsfall stets die gleiche Höhe am Punkt der größten Annäherung einnehmen, jedoch stützen die geringeren Urteilsleistungswerte in der horizontalen verglichen mit der vertikalen Separationsbedingung diese Schlussfolgerung. Gleichzeitig weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass vertikale Separationsfälle generell sicherer eingeschätzt werden als horizontale Separations- oder Konfliktfälle. Zusätzlich erfordern sie ein geringeres Ausmaß an zeitlichen Ressourcen und stellen daher auch insgesamt geringere Anforderungen an die Operateure.

Die in allen Konvergenzwinkelbedingungen auftretenden Leistungsunterschiede Aufgrund des **Ansichtswinkels** lassen sich durch die Referenzgitterdarstellung begründen, da die Formwahrnehmung unmittelbar mit der Bewegungsanalyse zusammenwirkt, und die eindeutigen Reize die nicht eindeutigen in der Regel unterdrücken (vgl. *aperture problem*, Goldstein, 2008). Dem Modell menschlicher Informationsverarbeitung folgend, könnten also die parallel zu den zu extrapolierenden Flugbahnen dargestellten Referenzgitterlinien die Extrapolation behindern, indem die gleichzeitig vom Referenzgitter (eindeutig) hervorgerufenen *bottom-up* Wahrnehmungsprozesse mit den zur mentalen Trajektorienextrapolation erforderlichen (nicht eindeutigen) *top-down* Prozessen interferieren. Die vorliegenden Befunde weisen darauf hin, dass dieser Interferenzeffekt im Falle diagonal zum Referenzgitter vorliegender Objektverläufe theoriekonform geringer

ausfällt als bei parallelen Bewegungen. Aufgrund der Komplexität dieses Phänomens und des unausgereiften Forschungsstandes hierzu lässt sich jedoch keine abschließende Klärung liefern. Die höheren Beobachtungszeiturteile bei Verwendung der Draufsichten in Verbindung mit einem Konvergenzwinkel von 180° hingegen lassen sich auf Ambiguitätsvorteile zurückführen, die offenbar vor allem bei großen Objektdistanzen zum Tragen kommen. Eine auf die Interferenzeffekte zwischen *bottom-up* und *top-down* Prozessen aufbauende Theorie dient auch zur Erklärung des Interaktionseffektes zwischen Ansichtswinkel und Anzeige bezüglich der Zeiturteile im Falle der 90° und 0° Bedingungen. Aufbauend auf obige Annahmen, führen die vogelperspektivischen Darstellungen der beiden Anzeigen 3DmL und 3DoL bei einem Konvergenzwinkel von 90° zu einer Abschwächung des Interferenzeffektes bei Vorliegen zum Referenzgitter paralleler Objektbewegungen, und erklärt damit die höheren Zeiturteile in Verbindung mit den Vogelperspektiven. Bei diagonalen Bewegungsverläufen hingegen tritt an Stelle der Abschwächung des Interferenzeffektes ein Vorteil für die beiden Draufsichten auf, der sich durch das Ausbleiben von Ambiguitäten entlang der Sichtlinie begründen lässt, und die horizontale Trajektorienextrapolation unterstützt. Dies erklärt auch die Zeitvorteile der beiden Draufsichten bei horizontalen Separationsfällen mit 90° Konvergenz und ungleichsinniger Vertikalbewegung. Aufgrund der geringen Effektstärke dieser Unterschiede sind diese Befunde jedoch lediglich als Hinweise aufzufassen, und ggf. in spezielleren Untersuchungen näher zu beleuchten. Die Befunde der 0° Bedingung weisen nochmals geringere Effektstärken aus und deuten auf tendenzielle Beobachtungszeitvorteile von 3D bei orthogonalen bzw. parallelen und von 2D bei diagonalen Trajektorienverläufen hin. Auch diese Befunde lassen sich mit o.g. Interferenzeffekten deuten.

Das mit Ausnahme der Ansichtswinkeleffekte vorliegende Ausbleiben von Wechselwirkungen zwischen den Anzeigekonzepten und Szenarienmerkmalen zeigt, dass zu diesem Analysezeitpunkt keine nennenswerten Stärken oder Schwächen der **Anzeigen** in Abhängigkeit von den Szenarienmerkmalen Vertikalbewegung, Konvergenzwinkel und Dimension auftreten. Die generell höhere Urteilsleistung bei rechtwinkligen Konvergenzwinkeln mit 2D ist durch die Vorteile bei der Trajektorienextrapolation auf der horizontalen Ebene begründbar, die offenbar nicht durch die analogen Höhendarstellungen der 3D Anzeigen kompensiert

werden. Diese Schlussfolgerung wird durch die zweitgrößte Urteilsleistung in Verbindung mit 3Ds zusätzlich unterstützt.

Die Befunde zu Effekten durch die **Probandengruppe** zeigen höheren Beobachtungszeurteile der trainierten Laien und Lotsen im Vergleich zu den beiden Vergleichsgruppen und legen damit den Schluss nahe, dass die Verfügbarkeit geeigneter Strategien vor allem der zeitlichen Ressourcennutzung zugute kommt. Sie ermöglicht es den Operateuren also, ein vergleichbares Leistungsniveau bei geringerem Zeitaufwand zu erzielen. Dieser Befund unterstützt den in anderen Arbeiten bereits diskutierten und im Forschungs- und Entwicklungsstand dargelegten Zweck des Strategieeinsatzes erfahrener Operateure. Das Ausbleiben bedeutsamer Leistungsunterschiede zwischen Lotsen und Piloten einerseits und den beiden Laiengruppen andererseits liefert hingegen neue Erkenntnisse und deutet darauf hin, dass individuelle kognitive Leistungsaspekte zumindest unter den Bedingungen der Szenarienmerkmalsanalyse keine nennenswerte Rolle spielen.

Implikation für die nachfolgenden Analyseschritte

Die Analyseergebnisse zeigen, dass die Ermittlung von Unterschieden zwischen verschiedenen Anzeigen oder Probandengruppen ohne den Einbezug spezifischer Szenarienmerkmale zur Maskierung relevanter Effekte führt. Die Verwendung von Szenarien mit einem rechtwinkligen Konvergenzwinkel ist für die Durchführung der weiterer Analyseschritte zur Ermittlung von Situations-, Person- und Anzeigemerkmale besonders geeignet. Der Grund dafür liegt darin, dass innerhalb dieser keine nennenswerten Wechselwirkungen vorliegen, welche die Untersuchung von Anzeige-konzeptunterschieden verkomplizieren, und innerhalb dieser eine vereinfachende Zusammenfassung sowohl der Dimensions- als auch der vertikalen Bewegungs- und Ansichtswinkelbedingungen vorgenommen werden kann. 0° und 180° Fällen kommt daher ein geringerer Stellenwert zu.

5.3.4 Situationsmerkmale

Die Frage, ob sich die Leistungseinbußen aufgrund der Hinzunahme einer auditiven Zusatzbeanspruchung zwischen den Anzeigen unterscheiden (Frage b, Kapitel 5.1, Seite 56), wird durch zwei Analyseschritte bearbeitet. Während der erste Schritt der Einflussanalyse der auditiven Zusatzaufgabe auf die Urteilsleistung und die Beobachtungszeurteile innerhalb der Szenarienmerkmalsvarianten

dient, wird im zweiten Schritt der diesbezügliche Einfluss von Ansichtswinkelvariationen innerhalb der Zusatzaufgabenbedingung untersucht.

Erster Analyseschritt - Auditive Zusatzaufgabe

Es wird eine fünffaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Innersubjektfaktoren sind die Faktoren Anzeigekonzept, auditive Zusatzaufgabe, Dimension und vertikale Bewegung, der, wie weiter oben bereits beschrieben, zur Vereinfachung zweistufig in das Analysemodell aufgenommen wird. Die Probandengruppe bildet einen Zwischensubjektfaktor. Abhängige Variable sind die Urteilsleistungs- und Zeiturteilswerte. Da in Verbindung mit der auditiven Zusatzaufgabe ausschließlich 90° Fälle gezeigt wurden, basiert die Analyse ausschließlich auf diesen. Sie liefert folgende Befunde (vgl. Tabelle 7-20, Seite 195 bis Tabelle 7-24, Seite 207).

Es zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt durch die auditive Zusatzaufgabe, der sich auf sowohl auf die Zeiturteile als auch die Urteilsleistung auswirkt. Die Urteilsleistung nimmt von durchschnittlich 74,6% ohne auditive Zusatzaufgabe um rund 5,2% auf 69,4% durch die Hinzunahme ab. Die mittleren Zeiturteile reduzieren sich um 6,9% von $\tau=2,99$ auf $\tau=2,79$. Zwischen den Situationsmerkmalsbedingungen und den Dimensionsbedingungen liegt eine ordinale Interaktion bezüglich der Beobachtungszeiturteile vor (siehe Abbildung 7-9, Seite 198). Während die Bedingung mit auditiver Zusatzaufgabe in Verbindung mit Konflikt- und horizontalen Separationsfällen zu Zeiturteilseinbußen von 2,4% bzw. 2,1% führt ($\tau=2,61$ vs. $\tau=2,55$ bzw. $\tau=2,58$ vs. $\tau=2,52$), verringern sich die Werte in den vertikalen Separationsbedingungen mit durchschnittlich 13,2% rund sechsmal stärker ($\tau=3,78$ vs. $\tau=3,29$). Zwischen den Faktoren Zusatzaufgabe, Dimension und vertikale Bewegung liegt ein hybrider Interaktionseffekt bezüglich der Beobachtungszeiturteile vor, der eine globale Interpretierbarkeit der Dimension und der vertikalen Bewegung erlaubt, nicht jedoch der Zusatzaufgabe (siehe Abbildung 7-10, Seite 198). So führt die auditive Zusatzaufgabe in Konfliktfällen zu einer Reduktion der Beobachtungszeiturteile um ca. 5,4% in Verbindung mit gleichsinnigen ($\tau=2,87$ vs. $\tau=2,77$) Vertikalbewegungen. In der Bedingung mit ungleichsinnigen Vertikalbewegungen ($\tau=2,35$ vs. $\tau=2,37$) zeigen sich keine nennenswerten Urteilsveränderungen. Bei vertikalen Separationsfällen reduzieren sich die Zeiturteile in beiden Vertikalbewegungsbedingungen gleichermaßen um

ca. 15,2% ($\tau=3,98$ vs. $\tau=3,89$ bzw. $\tau=3,46$ vs. $\tau=3,11$). Im Falle horizontaler Separation führt die auditive Zusatzaufgabe lediglich bei ungleichsinnigen Vertikalbewegungen zu einer Beobachtungszeitreduktion um etwa 5,4% ($\tau=2,58$ vs. $\tau=2,44$), nicht jedoch bei gleichsinnigen Verläufen ($\tau=2,58$ vs. $\tau=2,60$). Darüber hinaus liegt ein signifikanter Interaktionseffekt dritter Ordnung mit hybrider Ausprägung zwischen den Faktoren auditive Zusatzaufgabe, Dimension, vertikaler Bewegung und Probandengruppe bezüglich der Urteilsleistung vor, der eine globale Interpretation der auditiven Zusatzaufgabe und Dimension erlaubt, nicht jedoch der beiden Faktoren Probandengruppe und vertikaler Bewegung (siehe Abbildung 7-11, Seite 199). Der Interaktionseffekt äußert sich wie folgt: Während das Vorliegen ungleichsinniger Vertikalbewegungen unabhängig von der auditiven Zusatzaufgabenbedingung im Gegensatz zu gleichsinnigen Vertikalbewegungen zu rund 21,3% geringeren Urteilsleistungswerten bei Konfliktfällen und 10,9% geringeren Werten bei vertikalen Separationsfällen führt, zeigt sich eine andere Befundlage bei horizontalen Separationsfällen. Dort resultieren durchschnittlich 4,3% höhere Urteilsleistungen bei ungleichsinnigen Vertikalbewegungen als bei gleichsinnigen Bewegungsverläufen. Des Weiteren führt die Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe zu einer größeren Leistungsabnahme bei der Einschätzung von Konfliktfällen mit ungleichsinnigen (6,2%) als mit gleichsinnigen vertikalen Objektbewegungen (4,7%). Im Rahmen vertikaler Separationsfälle zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede (4,0% vs. 3,8%). Bei horizontalen Separationsfällen kehrt sich die Befundlage um. Die Leistungsabnahme durch die auditive Zusatzaufgabe fällt dort geringer aus, wenn vertikal ungleichsinnige Objektbewegungen vorliegen (4,5%), als wenn die vertikalen Bewegungen gleichsinnig verlaufen (7,6%). Dieser Effekt verstärkt sich weiter bei Berücksichtigung der Probandengruppen, da die Urteilsleistung der Fluglotsen lediglich bei Konfliktfällen eine mit den anderen Probandengruppen vergleichbare Einbuße von rund 5,5% durch die auditive Zusatzaufgabe zeigt, nicht jedoch bei Separationsfällen. Dort bleiben ihre Werte weitestgehend konstant. Unabhängig von Situations-, Person- und Szenarienmerkmalen zeigt sich ein signifikanter Effekt des Faktors Anzeigekonzept, der auf bedeutsame Mittelwertunterschiede bezüglich der Urteilsleistungen hinweist. Die höchste Leistung wird mit 2D erzielt (73,6%), gefolgt von 3Ds (71,9%), 3DmL (71,7%) und 3DoL (70,9%). Paarweise vergleiche zeigen, dass die Leistung mit 2D signifikant höher als die der

3D-Konzepte ausfällt, welche sich untereinander nicht nennenswert unterscheiden. Zwischen den Faktoren Anzeigekonzept und Dimension liegt ein bezüglich der Beobachtungszeiturteile signifikanter ordinaler Interaktionseffekt vor. Während Konflikt- sowie horizontale Separationsfälle zu vergleichbaren Urteilen mit allen Anzeigen führen, die sich in einer Spannweite von rund 0,07 um einen Mittelwert von $\tau=2,58$ bzw. $\tau=2,55$ bewegen, zeigen sich stärkere Urteilschwankungen zwischen den Anzeigen in Verbindung mit vertikalen Separationsfällen. Die Urteilstwerte liegen mit 2D am niedrigsten ($\tau=3,44$) und mit 3Ds am höchsten ($\tau=3,62$). Die Werte der beiden Vogelperspektiven 3DmL ($\tau=3,58$) und 3DoL ($\tau=3,50$) liegen dazwischen. Die Faktoren vertikale Bewegung und Dimension weisen jeweils einen signifikanten Haupteffekt bezüglich beider Maße und die Probandengruppe bezüglich der Beobachtungszeit auf, die denen bereits im zweiten Schritt der Szenarienmerkmalsanalyse erläuterten sowohl hinsichtlich Ausprägung als auch Effektstärke weitestgehend entsprechen, und daher an dieser Stelle nicht erläutert werden. Dasselbe gilt für die signifikante Wechselwirkung zwischen diesen beiden Faktoren. Zwischen den Faktoren auditive Zusatzaufgabe und Anzeigekonzept zeigt sich kein Interaktionseffekt, weshalb der Einfluss der Zusatzaufgabenbedingungen für alle Anzeigen gleichermaßen gilt. Tabelle 5-8 (Seite 110) liefert eine Ergebnisübersicht.

Zusammenfassung der auditiven Zusatzaufgabenanalyse: Die Variation der auditiven Zusatzaufgabenbedingung wirkt sich gleichermaßen bei allen Anzeigekonzepten aus. Die Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe führt jedoch zu Wechselwirkungen mit Szenarien- und Personmerkmalen. Allen voran übt die Zusatzaufgabe negative Einflüsse auf die Beobachtungszeiturteile bei vertikalen Separationsfällen aus. Bei horizontaler Separation führt sie lediglich im Rahmen ungleichsinniger Vertikalbewegungen zu geringeren Zeiturteilen. Bezüglich der Urteilsleistung schlägt sich die auditive Zusatzaufgabe hauptsächlich auf die Ergebnisse der Piloten sowie der beiden Laiengruppen nieder. Ihre Leistungen zeigen in allen Dimensionen Einbußen und fallen bei Konfliktfällen mit ungleichen Vertikalbewegungen am größten aus. Die Lotsen hingegen zeigen lediglich in Konfliktfällen Leistungseinbußen, nicht jedoch in den Separationsbedingungen.

Tabelle 5-8: Übersicht über die Ergebnisse des 1. Analyseschrittes: Situationsmerkmale. • = signifikanter Effekt. □ = n.s. ≈ wenn Differenz ≤ als durchsch. Standardabweichung der Vergleichswerte

Faktor(en)	Urteilsleistung (η^2)	Beobachtungszeit (η^2)	Analyseergebnisse
auditive Zusatzaufgabe	• .646	• .432	ohne Zusatz. > mit Zusatz.
auditive Zusatzaufgabe × Dimension	□	• .597	Konflikt: ohne Zusatz. ≈ mit Zusatz. ver.Sep.: ohne Zusatz. > mit Zusatz. hor.Sep.: ohne Zusatz. ≈ mit Zusatz.
auditive Zusatzaufgabe × Dimension × vertikale Bewegung	□	• .241	Konflikt, gleich.: ohne Zusatz. > mit Zusatz. Konflikt, ungleich.: ohne Zusatz. ≈ mit Zusatz. ver.Sep.: ohne Zusatz. > mit Zusatz. hor.Sep., gleich.: ohne Zusatz. ≈ mit Zusatz. hor.Sep., ungleich: ohne Zusatz. > mit Zusatz.
auditive Zusatzaufgabe × Dimension × vertikale Bewegung × Probandengruppe	• .167	□	Differenz ohne vs. mit Zusatz, Laien & Lotsen: Konflikt: gleich > ungleich ver.Sep.: gleich ≈ ungleich hor.Sep.: gleich < ungleich Differenz ohne vs. mit Zusatz, Fluglotsen: Konflikt: gleich > ungleich ver.Sep.: gleich ≈ ungleich hor.Sep.: gleich ≈ ungleich
Anzeigekonzept	• .113	□	2D > 3Ds = 3DmL = 3DoL
Anzeigekonzept × Dimension	□	• .063	Konflikt: 3Ds ≈ 3DmL ≈ 3DoL ≈ 2D ver.Sep.: 3Ds ≈ 3DmL > 3DoL ≈ 2D hor.Sep.: 3Ds ≈ 3DmL ≈ 3DoL ≈ 2D
vertikale Bewegung	• .854	• .768	gleich > ungleich
Dimension	• .701	• .817	Sicher.: ver.Sep. > Kon. > hor.Sep. Zeit: ver.Sep. > Kon. = hor.Sep.
Dimension × vertikale Bewegung	• .616	• .372	Sicher., gleich: ver.Sep. > Kon. > hor.Sep. Sicher., ungleich: ver.Sep. > Kon. ≈ hor.Sep. Zeit, gleich: ver.Sep. > Kon. > hor.Sep. Zeit, ungleich: ver.Sep. > hor.Sep. > Kon.
Probandengruppe	□	• .229	t.Laien = Lotsen Lotsen = u.Laien = Piloten t.Laien > u.Laien > Piloten

Zweiter Analyseschritt - Ansichtswinkel

Zur Ermittlung des Einflusses der Ansichtswinkelvariation auf die Leistung unter Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe wird eine mit dem dritten Analyseschritt der Szenarienmerkmalsanalyse vergleichbare Untersuchung durchgeführt. Aufgrund der vorliegenden Datenstruktur werden ausschließlich 90° Fälle einer varianzanalytischen Betrachtung unterzogen. Wie in der Ansichtswinkelanalyse im vorangegangenen Kapitel bereits erwähnt wurde, handelt es sich beim Ansichtswinkel um eine innerhalb des Versuchsplans geschachtelte Variable, so dass die einzelnen Szenarien einem jeden Probanden, abhängig von Konvergenzwinkel und vertikaler Bewegung, in unterschiedlichem Azimutwinkeln dargeboten wurden. Da ein jedes Szenario innerhalb aller Versuchsdurchläufe eines Probanden mit allen Anzeigekonzept- und Dimensionsbedingungen hinweg konstant blieb, kann keine Messwiederholung auf dem Faktor vertikale Bewegung stattfinden. Aufbauend auf die vorangegangenen Analyseschritte werden ausschließlich vertikale Separationsfälle betrachtet und die vier Ansichtswinkelbedingungen durch Zusammenfassung der beiden parallelen/orthogonalen bzw. diagonalen Bedingungen in jeweils eine Kategorie auf zwei Ansichtswinkelbedingungen reduziert. Des Weiteren werden lediglich die Situationen mit auditiver Zusatzaufgabe betrachtet und aufgrund der Gruppenunabhängigkeit der Ansichtswinkeleffekte in der vorangegangenen Analyse keine Differenzierung zwischen den Probandengruppen vorgenommen. Es wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor Anzeigekonzept durchgeführt. Die Ansichtswinkelbedingung bildet einen Zwischensubjektfaktor. Abhängige Variable sind die Urteilsleistungs- und die Zeiturteilswerte. Auf die Differenzierung zwischen unterschiedlichen Vertikalbewegungsbedingungen wird aufgrund der ansonsten zu geringen Fallzahl für eine Varianzanalyse verzichtet (vgl. Tabelle 7-25, Seite 208 bis Tabelle 7-27, Seite 209).

Die Analyse zeigt eine statistisch bedeutsame ordinale Wechselwirkung zwischen den Faktoren Ansichtswinkel und Anzeigekonzept bezüglich der Urteilsleistung (siehe Abbildung 7-14, Seite 208). Bei Vorliegen diagonalen Ansichtswinkel zeigen sich Vorteile von 3D. Mit durchschnittlichen 90,4 % liegt die Urteilsleistung in Verbindung mit 3Ds am höchsten, gefolgt von 3DmL (88,0%), 3DoL (87,4%) und 2D (85,5%). Bei Vorliegen paralleler/orthogonaler Objektbewegungen kehrt sich

dieser Befund um. Im Rahmen dessen wird die höchste Urteilsleistung mit 2D erzielt (86,7%), gefolgt von 3DmL (85,6%), 3Ds (83,3%) und 3DoL (83,2%).

Tabelle 5-9: Übersicht über die Ergebnisse des 2. Analyseschrittes: Ansichtswinkel. • = signifikanter Effekt. □ = n.s. ≈ wenn Differenz ≤ als durchsch. Standardabweichung der Vergleichswerte

Faktor(en)	Urteilsleistung (η^2)	Beobachtungszeit (η^2)	Analyseergebnis
90° Ansichtswinkel × Anzeigekonzept	• .017	□	orthogonal/parallel: 2D ≈ 3DmL > 3Ds ≈ 3DoL diagonal: 3Ds > 3DmL ≈ 3DoL > 2D

Zusammenfassung der Ansichtswinkelanalyse: Im Gegensatz zur 2D Anzeige lässt sich mit 3D dann eine höhere Urteilsleistung bei der Einschätzung vertikaler Separationsfälle nachweisen, wenn die Objektbewegungen diagonal statt parallel bzw. orthogonal zur Sichtlinie des Betrachters verlaufen. Lotdarstellungen führen stets zu einer Unterstützung der Urteilsleistung.

Interpretation zu den Befunden der Situationsmerkmalsanalyse

Die negative Auswirkung der Hinzunahme der **auditiven Zusatzaufgabe** auf die Urteilsleistung, Entscheidungssicherheit und Beobachtungszeit entspricht den Erwartungen, die sich aus den Modellen zur Beschreibung der menschlichen Informationsverarbeitung ergeben. Die Erfordernis zeitgleich eine zusätzliche Aufgabe ausführen zu müssen führt zur Notwendigkeit, die begrenzten Ressourcen auf diese aufzuteilen. So ist es erforderlich, sowohl den visuellen wie auch den auditiven Reizen Aufmerksamkeit zu schenken, und die visuell dargebotenen numerischen Höhenangaben zeitgleich mit der auditiven Zusatzaufgabe zu verarbeiten. Dass sich die Urteilsleistung und die Beobachtungszeitangaben bei allen Anzeigen gleichermaßen verringern legt den Schluss nahe, dass vor allem die limitierten Aufmerksamkeitsressourcen für die Abnahmen verantwortlich sind. Die Kapazitäten der betroffenen Arbeitsgedächtnisinstanzen scheinen keine Rolle zu spielen, da die Probanden den erwarteten Vorteil der 3D Anzeigen, nämlich die Entlastung v.a. der phonologischen Schleife durch die Verteilung der Informationsflut auf unterschiedliche Instanzen, offenbar nicht zu nutzen vermögen. Die vor allem in der vertikalen Separationsbedingung auftretende Abnahme der Beobachtungszeiturteile bei allen Anzeigen stützt obige Annahme zusätzlich, da sich die erwarteten Vorteile von 3D gerade in dieser Dimension am deutlichsten zeigen sollten. Die geringen Einbußen der Lotsen sind daher weniger auf kognitive Leistungsas-

pekte als vielmehr durch Expertisevorteile zu begründen. Zwar zeigen die Analysen der Probandengruppen, dass sowohl Piloten als auch trainierte Laien ähnliche Zeiturteilsabnahmen wie untrainierte Laien aufweisen, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die Lotsen eine ausgeprägte Übung bei der zeitgleichen Informationsverarbeitung numerischer Höhenangaben und auditiver Sprechfunknachrichten besitzen, über die die trainierte Laiengruppe nicht verfügt, da sie nicht Bestandteil des Konfliktbeurteilungstrainings war. Durch den daraus resultierenden Vorteil eines insgesamt geringeren Ressourcenaufwandes fällt es den Lotsen leichter, die limitierten Aufmerksamkeitsressourcen auf beide Aufgabenaspekte zu verteilen, und dadurch eine höhere Leistung zu erzielen. Dies schlägt sich entsprechend in den geringeren Leistungsabnahmen der Lotsen bei Vorliegen ungleicher vertikaler Bewegungen nieder. Geringe Zeitvorteile der 3D Anzeigen mit Lotdarstellung weisen auf Vorteile der analogen Höhendarstellung bei der Einschätzung vertikaler Separationsfälle und der zeitgleichen Verarbeitung auditiver Sprechfunknachrichten hin. Dass jedoch in Verbindung mit 2D auch unter diesen situativen Bedingungen eine im Mittel höhere Urteilsleistung als mit den 3D Anzeigen erzielt wird, unterstützt die im Rahmen der Interpretation der Befunde der Szenarienmerkmalsanalyse bereits dargelegte Schlussfolgerung, dass eine präzise horizontale Trajektorienextrapolation einen besonders hohen Stellenwert zur Bewältigung der Aufgabe einnimmt, und sich 2D hierzu besonders gut eignet. Die o.g. Zeitvorteile bei der Einschätzung vertikaler Separationsfälle durch die analogen Höhendarstellungen der 3D Anzeigen kompensiert die Vorteile von 2D also nicht. Auch in dieser Analyse zeigt sich die zweitgrößte Urteilsleistung mit 3Ds, was diese Schlussfolgerung zusätzlich stützt.

Die Interpretation der auftretenden Effekte aufgrund der Variation des **Ansichtswinkels**, die im Rahmen der Szenarienmerkmalsanalyse dargelegt wurde, gilt auch für die vorliegende Bedingung mit auditiver Zusatzaufgabe. D.h., dass die Urteilsleistungen bei den beiden Draufsichten aufgrund geringerer Interferenzen mit der Referenzgitterdarstellung bei diagonal verlaufenden Trajektorien profitieren. Orthogonale bzw. parallele Trajektorienverläufe hingegen dürften die Einschätzung mit 3D durch Darstellungsverzerrungen erschweren. Die Stärke des Effektes der Ansichtswinkelvariation fällt jedoch sehr gering aus, weshalb seine Praxisbedeutsamkeit fraglich ist.

Implikation für die nachfolgenden Analyseschritte

Aufgrund des Ausbleibens bedeutsamer Wechselwirkungen zwischen Anzeige- und Szenarien- sowie Personmerkmalen in beiden Situationsbedingungen können zur Analyse von Leistungsunterschieden zwischen den Anzeigen sowohl die Ausprägungen der Szenarien- als auch die der Situations- und Personmerkmale zusammengefasst werden. Wegen des Vorliegens von Wechselwirkungen mit und innerhalb der auditiven Zusatzaufgabenbedingung mit Person- und Szenarienmerkmalen bedarf die Analyse von Gruppenunterschieden hingegen der Berücksichtigung sowohl der Zusatzaufgaben- als auch der Konvergenzwinkelbedingung. Dies gilt insbesondere dann, wenn eine Probandengruppe durch Fluglotsen gebildet wird. Sollen die Leistungen von Piloten sowie trainierten und untrainierten Laien miteinander verglichen werden, ist eine Zusammenfassung der Situationsmerkmalsbedingungen möglich. Eine Differenzierung zwischen den Konvergenzwinkelbedingung bzw. die Festlegung auf eine spezielle Ausprägung ist jedoch stets erforderlich um die Maskierung relevanter Effekte zu vermeiden.

5.3.5 Personmerkmale

Die Beantwortung der Frage, welche Rolle die Merkmale Expertise, Strategiewissen, Einstellung, Persönlichkeit und kognitive Leistung für den Anzeigevergleich spielen (Frage d, Kapitel 5.1, Seite 56), wird der Anzeigemerkmalsanalyse vorangestellt, so dass die Befunde im darauffolgenden Vergleich berücksichtigt werden können. In diesem Kapitel stehen also Unterschiede zwischen den Probanden und deren Auswirkungen auf die Leistung mit den untersuchten Anzeigen im Fokus. Es finden zunächst Analysen von Antworttendenzen und Lerneffekten statt. Des Weiteren wird das Ausmaß der subjektiv erlebten Beanspruchung und Präferenz gegenüber den Anzeigen betrachtet. Anschließend werden die Einflüsse kognitiver Leistungs-, Einstellungs- und Persönlichkeitsunterschiede adressiert.

Erster Analyseschritt - individuelle Antworttendenz

Die Grundlage für die Antworttendenzanalyse bilden die Konflikteinschätzungen der einzelnen Probandengruppen mit einer Anzeige unter der jeweiligen Beanspruchungsbedingung. Ausgehend von den Befunden der vorangegangenen Analyseschritte werden ausschließlich 90° Konvergenzfälle betrachtet.

Zur Bestimmung der relevanten Antworttendenzen werden zunächst die entsprechenden zROC Gleichungen ermittelt. Wie in der Operationalisierung erläutert, geschieht dies auf Basis der z-standardisierten *Hit* und *False Alarm* Werte (siehe Tabelle 7-28, Seite 210, bis Tabelle 7-35, Seite 213). Die zROC Gleichungen ohne bzw. mit auditiver Zusatzbeanspruchung weisen, mit Ausnahme derer der Piloten in Verbindung mit 3DoL (66% bzw. 70%), stets sehr gute Anpassungswerte auf ($R^2_{\min} > 95\%$), und lassen sich daher als zuverlässige Grundlage zur Ermittlung weiterer Kennzahlen erachten. Die Betrachtung der Steigungskoeffizienten zeigt folgende Befunde.

Ohne auditive Zusatzbeanspruchung weisen die Isosensitivitätslinien von Fluglotsen und Piloten über alle Anzeigen gemittelt kleinere Steigungskoeffizienten ($a=1.34$ bzw. $a=1.32$) auf als die der trainierten ($a=1.52$) und untrainierten Laien ($a=1.63$). Die Hinzunahme der auditiven Zusatzbeanspruchung führt bei Fluglotsen ($a=1.37$) und trainierten Laien ($a=1.53$) zu geringeren Steigungsveränderungen als bei untrainierte Laien und Piloten ($a=1.30$ bzw. $a=1.27$). Bezüglich der Antwortkategorie „ganz sicher ja“ zeigt sich, dass, gemittelt über alle Anzeigen und Beanspruchungsbedingungen, trainierte Laien ($c_a=1.54$) und Fluglotsen ($c_a=1.75$) sowie untrainierte Laien ($c_a=2.14$) und Piloten ($c_a=2.15$) jeweils ein ähnliches Antwortverhalten bezüglich einer sicheren Entscheidung zugunsten eines Konfliktes aufweisen. Im Vergleich zu untrainierten Laien und Piloten erzielen trainierte Laien und Fluglotsen dadurch eine rund doppelt so hohe Wahrscheinlichkeit einen tatsächlichen Konflikt sicher als solchen zu klassifizieren (12,4% vs. 24,8%), gehen jedoch gleichzeitig auch ein etwa doppelt so hohes Risiko für einen Falschalarm ein (2,4% vs. 4,9%). Bei untrainierten Laien und Piloten stellt sich somit durchschnittlich jede vierzigste sichere Konflikteinschätzung als Fehlentscheidung heraus. Bei trainierten Laien und Lotsen geschieht dies im Schnitt doppelt so häufig; Sie schätzen jede zwanzigste Separation sicher als Konfliktfall ein. Abbildung 5-8 auf Seite 117 zeigt den Anteil jeder Antwortkategorie an der Gesamtentscheidungshäufigkeit der einzelnen Probandengruppen bei Vorliegen eines tatsächlichen Konfliktes. Lotsen sind sich in 35,7% der Konfliktfälle ganz sicher einen solchen zu beobachten, und verwenden diese Antwortkategorie damit am häufigsten, gefolgt von trainierten Laien mit 28,9%. Untrainierte Laien und Piloten sind sich mit 19,2% bzw. 19,4% weniger häufig ganz sicher. Piloten geben in nahezu der Hälfte (48,2%) ihrer positiven Konfliktein-

schätzungen an, wahrscheinlich einen solchen zu beobachten. Insgesamt liegen alle Probanden mit den drei positiven Konfliktklassifikationen „ganz sicher ja“ bis „eher ja“ in mehr als $\frac{3}{4}$ der Fälle richtig.

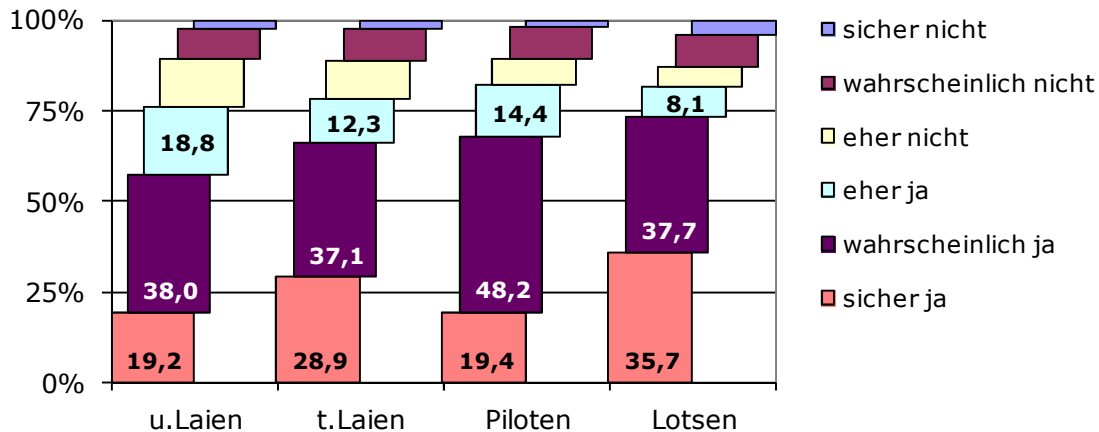


Abbildung 5-8: Prozentuale Verwendungshäufigkeit der Antwortkategorien bei Konfliktfällen

Die Isosensitivitätslinien der Piloten in Verbindung mit 3DoL aufgrund der geringen Regressionspassungen außer Acht gelassen, zeigen Fluglotsen die größten Steigungskoeffizienzenunterschiede in Abhängigkeit von der Anzeige. Die Geradensteigungen fallen bei diesen mit 3D im Mittel stets steiler aus ($a=1.45$) als mit 2D ($a=1.07$). Diese Unterschiede sind bei Piloten (0.09) sowie trainierten (0.16) und untrainierten Laien (0.15) geringer.

Die Hinzunahme der auditiven Zusatzbeanspruchung verstärkt diesen Effekt, und zeigt die größte Wirkung innerhalb des Vergleiches zwischen 2D und 3DmL. Der Zuwachs des Steigungskoeffizienten der Fluglotsen fällt mit 3DmL etwa fünfmal größer aus als mit 2D (0.27 vs. 0.05). Bei den Piloten zeigt sich mit keiner der untersuchten Anzeigen eine nennenswerte Veränderung. Die beiden Laiengruppen zeigen eine zu den Fluglotsen gegenteilige Veränderung: In ihrem Fall führt die auditive Beanspruchung zu einer stärkeren Verringerungen der Steigungskoeffizienten mit 2D, was zur weitest gehenden Werteannäherung über alle Anzeigen hinweg führt. Abbildung 5-9 auf Seite 118 veranschaulichen die Befundlage für jede Probandengruppe bei Vorliegen der auditiven Zusatzbeanspruchung.

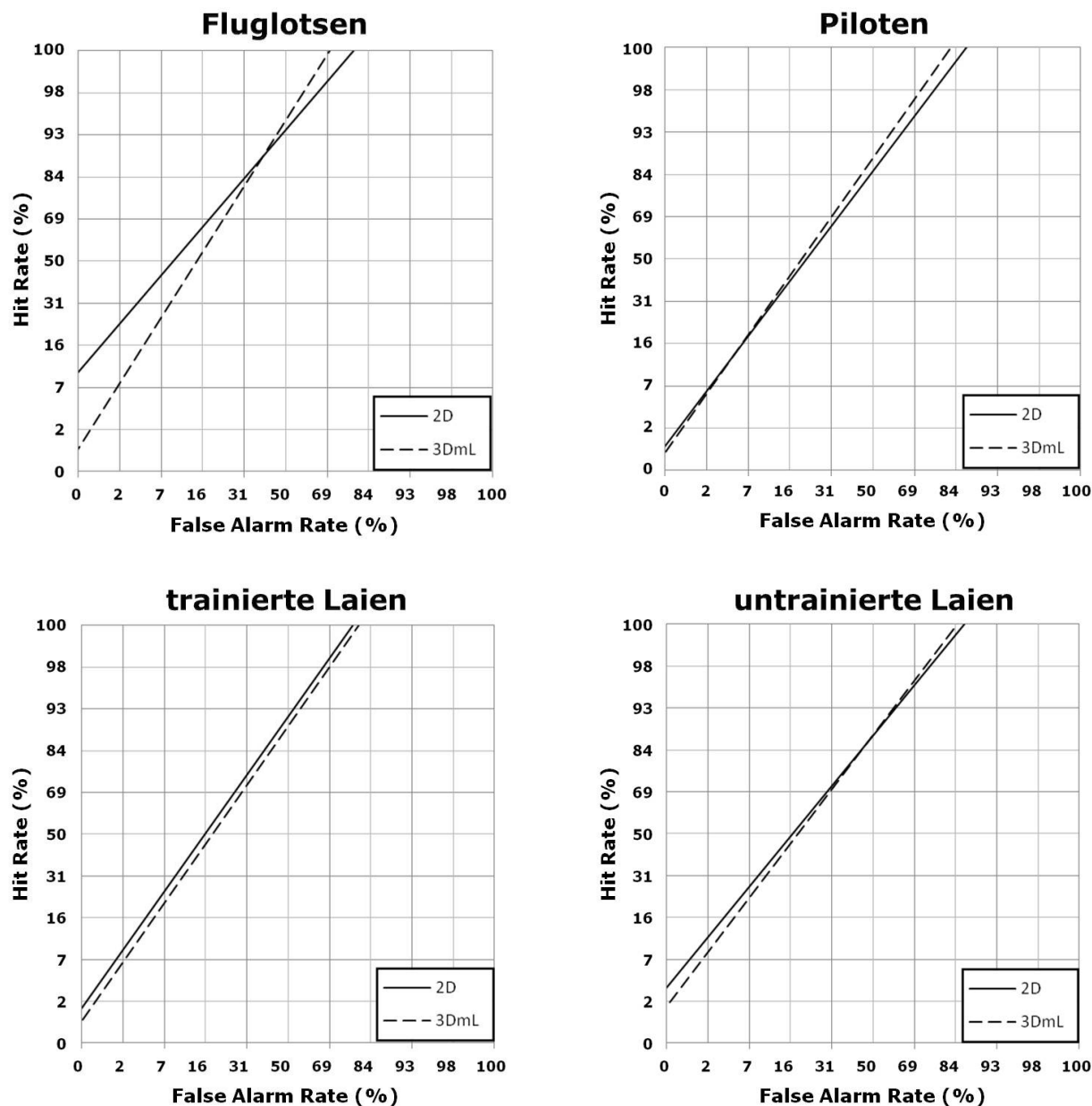


Abbildung 5-9: Isosensitivitätslinien von Fluglotsen, Piloten, trainierten und untrainierten Laien in Verbindung mit 2D und 3DmL auf Basis von 90° Konvergenzfällen mit auditiver Zusatzbeanspruchung

Zusammenfassung der Antworttendenzeanalyse: Die Verwendung von 2D resultiert in einem liberaleren Antwortverhalten als 3D. Die Hinzunahme einer auditiven Zusatzbeanspruchung führt zu einem Angleich der Antworttendenzen über die Anzeigen hinweg. Einzig die Fluglotsen bilden eine Ausnahme, und urteilen mit 2D unter allen Bedingungen stets liberaler als mit 3D. Ihre Antworttendenz mit 2D entspricht in etwa einem neutralen Kriterium. Die Verfügbarkeit von Konfliktbeurteilungsexpertise führt zu einer Erhöhung der Entscheidungssicherheit.

Zweiter Analyseschritt - Lerneffekte

Zur Ermittlung von Lerneffekten werden etwaige Veränderungen der Urteilsleistungs- und Beobachtungszeiturteilswerte über den Zeitverlauf durch Lernkurven beschrieben. Zur Vermeidung von zu erwartenden Urteilsschwankungen durch die unterschiedlichen Szenarienschwierigkeiten werden die insgesamt 86 Szenarien ohne bzw. 32 Szenarien mit auditiver Zusatzaufgabe zu jeweils fünf Messzeitpunkten zusammengefasst. Das bedeutet, dass im Rahmen der Durchläufe ohne Zusatzaufgabe jeweils 17, und in der Bedingung mit Zusatzaufgabe jeweils sechs Szenarien zu einem Messzeitpunkt zusammengefasst werden. Die unterschiedliche Szenarienanzahl zwischen den beiden Zusatzaufgabenbedingungen, die zu je einem Messzeitpunkt zusammengefasst werden, trägt der größeren Variation aufgrund der Konvergenzwinkelvariation innerhalb der Bedingung ohne Zusatzaufgabe Rechnung. Aufgrund des üblicherweise exponentiellen Lernkurvenverlaufes (vgl. Newell & Rosenbloom, 1981) werden die so erhaltenen Urteilsleistungswerte und Beobachtungszeiturteile durch eine logarithmische Regression für jede Anzeige und jede Probandengruppe separat beschrieben.

Die durchschnittliche Passung der logarithmischen Regressionsgleichungen in der Bedingung ohne auditive Zusatzaufgabe liegt bei $R^2=.361$ ($p=.434$) für die Urteilsleistungswerte, sowie bei $R^2=.339$ ($p=.388$) für die Beobachtungszeiturteile. Diese Werte weisen auf relativ großen Schwankungen zwischen den Messzeitpunkten hin. Die mittleren Steigungen zwischen $-.001$ bzw. $-.008$ zeigen keine nennenswerten Lerneffekte in der Bedingung ohne Zusatzaufgabe. In den Fällen mit auditiver Zusatzaufgabe liegt die über alle Regressionen gemittelte Passung bei $R^2=.615$ ($p=.15$) für die Urteilsleistungswerte bzw. $R^2=.652$ ($p=.16$) im Falle der Beobachtungszeitwerte. Die mittleren Steigungen liegen bei $.07$ bzw. $.18$. Diese Werte indizieren tendenzielle Zunahmen beider Maße über den Testverlauf. Aufgrund der fehlenden statistischen Bedeutsamkeit der Regressionspassungen werden die Analyseergebnisse zusammenfassend und qualitativ dargelegt. Auf einer detaillierte Darstellung der Werteveränderungen aller Probandengruppen wird verzichtet, und stattdessen die der Lotsen exemplarisch berichtet.

Eine Differenzierung zwischen den Anzeigen liefert keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen den Lernverläufen. Auch die Kontrolle der Konzeptposition innerhalb des Versuchsplans durch eine diesbezüglich differenzierte Betrachtung

der Lernkurven deckt keine nennenswerten Befunde auf. Bezüglich der Urteilsleistung zeigt sich eine über alle Probandengruppen gemittelte Leistungszunahme von rund 11% ($\sigma_n=0,4$) vom ersten bis zum letzten Messzeitpunkt. Im Falle der Beobachtungszeiturteile beträgt die Abnahme der erforderlichen Beobachtungszeit vom ersten bis zum letzten Messzeitpunkt ca. $\tau=0,29$ ($\sigma_n=0,15$). Fluglotsen zeigen die größten Leistungszuwächse mit 3Ds und 3DmL. Diese betragen rund 19% bzw. 16%, womit sie mit diesen Anzeigen zum letzten Messzeitpunkt eine Urteilsleistung von 77,2% bzw. 75,8% erzielen. Mit 2D und 3DoL liegen die Leistungszuwächse bei 12% bzw. 8% und erreichen ein Niveau von 77,1% bzw. 72,7%. Eine ähnliche Befundlage zeigt sich im Falle der Beobachtungszeiturteile. Die Urteilszunahmen von 3Ds und 3DmL betragen hierbei $\tau=0,36$ bzw. $\tau=0,44$ und erreichen beide ein Niveau von $\tau=3,04$ zum letzten Messzeitpunkt. Im Vergleich dazu nehmen die Beobachtungszeiturteile mit 2D und 3DoL um jeweils $\tau=0,1$ zu, und erreichen ein Niveau von $\tau=2,86$ bzw. $\tau=2,94$.

Zusammenfassung der Lerneffektanalyse: Lerneffekte zeigen sich lediglich unter auditiver Zusatzbeanspruchung. Diese beziehen sich sowohl auf die Urteilsleistungswerte als auch die Beobachtungszeiturteile. Lotsen erzielen die höchsten Urteilsleistungen zu Testbeginn mit 2D und zum Testende mit den beiden Draufsichten. Die höchsten Zeiturteilstwerte resultieren bei Verwendung von 3DmL.

Dritter Analyseschritt - subjektive Beanspruchung

Zur Untersuchung etwaiger Unterschiede bezüglich der subjektiv erlebten Beanspruchung wird eine zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung über die NASA TLX Messwerte durchgeführt. Der Faktor Anzeigeformat bildet den Messwiederholungsfaktor, die Probandengruppe den Zwischensubjektfaktor. Abhängige Variable bilden die sechs Beanspruchungsskalen. Es zeigen sich die folgenden Befunde.

Die Probandengruppen unterscheiden sich signifikant bezüglich ihrer subjektiven Einschätzung der Aufgabenausführung, nicht jedoch hinsichtlich der restlichen Beanspruchungsaspekte. Die Lotsen schätzen den Grad ihrer Aufgabenausführung mit einem Mittelwert von $\bar{x}=14,4$ auf einer Skala von 0-20 am höchsten ein, gefolgt von den Piloten ($\bar{x}=13,8$), trainierten Laien ($\bar{x}=13,8$) und untrainierten Laien ($\bar{x}=11,3$). Paarweise Vergleiche zeigen, dass die diesbezüglichen Einschätzungen der untrainierten Laien signifikant geringer ausfallen als die der Ver-

gleichsgruppen, welche sich nicht statistisch bedeutsamen voneinander unterscheiden. Aufgrund des Ausbleibens eines signifikanten Interaktionseffektes zwischen den Faktoren Anzeigeformat und Probandengruppe sind die Unterschiede unabhängig von der Anzeige. Ein signifikanter Haupteffekt durch die Anzeigeformatvariation weist auf einen bedeutsamen Unterschied zwischen den Anzeigen hinsichtlich der körperlichen Beanspruchung hin. Diese wird am geringsten mit der 2D Anzeige erlebt ($\bar{x}=3,8$), gefolgt von 3Ds ($\bar{x}=5,7$), 3DmL ($\bar{x}=7,0$) und 3DoL ($\bar{x}=7,4$). Bis auf die beiden Vogelperspektiven weisen paarweise Vergleiche auf statistisch bedeutsame Unterschiede zwischen allen Anzeigen hin. Den größten Anteil an der subjektiv erlebten Beanspruchung im Mittel über alle Probandengruppen und Anzeigeformate geht auf die Aufgabenausführung ($\bar{x}=13,2$) zurück, gefolgt von der geistigen Beanspruchung ($\bar{x}=10,9$), der Anstrengung zur Erledigung der Aufgaben ($\bar{x}=10,5$), der zeitlichen Beanspruchung ($\bar{x}=8,4$) und der Frustration ($\bar{x}=6,0$). Die körperliche Beanspruchung nimmt den geringsten Anteil ($\bar{x}=6,0$) an der Gesamtbeanspruchung ein.

Eine weitere Beanspruchungsanalyse auf Basis der Fälle mit auditiver Zusatzaufgabe zeigt, dass die Beanspruchungserhöhung zu signifikanten Gruppenunterschieden sowohl der geistigen und zeitlichen Beanspruchung, als auch der erlebten Anstrengung führt. Das subjektiv erlebte Ausmaß der geistigen Beanspruchung fällt bei den Lotsen signifikant geringer aus ($\bar{x}=12,1$) als das der Piloten und untrainierten ($\bar{x}=16,4$ bzw. $\bar{x}=16,7$) bzw. trainierten Laien ($\bar{x}=17,2$), die sich untereinander nicht statistisch voneinander unterscheiden. Eine ähnliche Reihenfolge findet sich bei der Analyse der zeitlichen Beanspruchung ($\bar{x}=8,6$; $\bar{x}=14,1$; $\bar{x}=13,7$; $\bar{x}=15,0$) und der Anstrengung ($\bar{x}=10,9$; $\bar{x}=15,6$; $\bar{x}=15,5$; $\bar{x}=16,7$). Paarweise Vergleiche zeigen signifikant geringere zeitliche Beanspruchungswerte der Fluglotsen im Vergleich zu den trainierten Laien und Piloten, die untereinander vergleichbare Werte liefern. Zwischen den Lotsen und untrainierten Laien besteht ein nennenswerter Unterschied. Paarweise Vergleiche der Anstrengungsurteile zeigen signifikant geringere Werte der Lotsen gegenüber den Vergleichsgruppen, die sich untereinander nicht unterscheiden. Hinsichtlich des Grades der Aufgabenausführung zeigt sich, im Gegensatz zur Bedingung ohne Zusatzaufgabe, kein bedeutsamer Unterschied zwischen den Probandengruppen. Ihre Einschätzungen fallen im Mittel um rund 38% geringer aus ($\bar{x}=13,3$ vs. $\bar{x}=10,4$) als ohne auditive Zusatzaufgabe. Ähnliches gilt für die körperliche Beanspruch-

ung, die sich innerhalb der Bedingung ohne auditive Zusatzaufgabe in bedeutender Weise zwischen den Anzeigen unterscheidet, nicht jedoch in bei Vorliegen der Zusatzbeanspruchung. Des Weiteren führt die Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe zu einem Anstieg der geistigen und zeitlichen Beanspruchung sowie der erlebten Anstrengung bei allen Probandengruppen. Im Falle der Lotsen fallen diese Anstiege mit rund 31%, 36% bzw. 30% geringer aus als bei den Vergleichsgruppen, deren Anstiege im Mittel 46%, 58% bzw. 42% betragen, so dass sich ein entsprechend bedeutsamer Gruppenunterschied zeigt, der ohne Zusatzbeanspruchung nicht vorliegt. Die Frustration steigt durch die Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe um ca. 35% gleichsam über alle Anzeigen und Probandengruppen an ($\bar{x}=6,0$ vs. $\bar{x}=8,1$), und übt auch in Verbindung mit der auditiven Zusatzaufgabe einen geringen Einfluss auf die Gesamtbeanspruchung aus. Die körperliche Beanspruchung bildet stets die geringste Beanspruchungsquelle ($\bar{x}=6,5$), wohingegen nun die geistige Beanspruchung den größten Teil der Gesamtbeanspruchung ausmacht ($\bar{x}=15,6$), und damit die Aufgabenausführung ablöst. Diese rückt an die vierte Stelle ($\bar{x}=10,6$) nach der Anstrengung zur Erledigung der Aufgaben ($\bar{x}=14,7$) und der zeitlichen Beanspruchung ($\bar{x}=12,8$).

Insgesamt führt der Einfluss auf die subjektive Beanspruchung durch Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe, im Gegensatz zur Vergleichsbedingung, weder zu statistisch bedeutsamen Unterschieden zwischen den Anzeigen, noch zu Wechselwirkungen zwischen Probandengruppe und Anzeige-konzept, wodurch die Befunde für alle untersuchten Anzeigen gleichermaßen gelten.

Zusammenfassung der Beanspruchungsanalyse: Fluglotsen schätzen ihre Leistung bei der Aufgabenausführung generell und unabhängig von der eingesetzten Anzeige höher ein als die Vergleichsgruppen, deren Einschätzungen weitgehend übereinstimmen. Außerdem erleben Fluglotsen geringere subjektive Beanspruchungszuwächse durch die Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe als die Vergleichsgruppen. Generell resultiert der Einsatz von 3D in einer höheren körperlichen Beanspruchung, und ist am größten mit den beiden Vogelperspektiven. Die Verwendung einer Lotdarstellung reduziert die körperliche Beanspruchung mit 3D. Genauso wie die Frustration spielt auch die körperliche Beanspruchung eine untergeordnete Rolle innerhalb Gesamtbeanspruchung, zu der vor allem die Ausführung der anstehenden Aufgabe selbst, sowie die geistige und zeitliche Beanspruchung beitragen.

Vierter Analyseschritt - Strategieeinsatz

Die Analyse der Strategieangaben zeigt, dass untrainierten Laien sowie Lotsen und Piloten meist zuerst eine Überprüfung der Objekthöhen vornehmen um zu bestimmen, ob sich diese auf gleichen oder unterschiedlichen Höhen bewegen. Das weitere Vorgehen von untrainierten Laien und Fluglotsen besteht in der Bestimmung der vertikalen Bewegungsrichtungen. Anschließend wird ermittelt, ob die Trajektorien einen Schnittpunkt auf der lateralen Ebene aufweisen. Falls ja, erfolgt der Einbezug der Zeitkomponente um zu ermitteln, ob dieser gleichzeitig erreicht wird. Schließlich findet eine Abschätzung der Objekthöhen statt.

Berechnungen der Urteilsübereinstimmungen auf Basis des Konkordanzkoeffizienten nach Kendall (W ; Bortz et al, 2008) zeigen, dass Lotsen die o.g. Strategie stets und unabhängig von der verwendeten Anzeige einsetzten. Das Ausmaß ihrer Übereinstimmung ist statistisch bedeutsam bei allen vier Anzeigen (2D: $W=.322$; 3Ds: $W=.243$; 3DoL: $W=.415$; 3DmL: $W=.356$; $p<.001$). Die untrainierten Laien hingegen zeigen lediglich mit 3Ds und 3DmL bedeutsame Übereinstimmungswerte ($W=.200$; $p=.024$ bzw. $W=.230$; $p=.01$). Mit 2D und 3DoL fallen ihre Übereinstimmungen geringer und nicht statistisch bedeutsam aus ($W=.137$; $p=.113$ bzw. $W=.156$; $p=.071$). Im Gegensatz dazu liefern die Piloten ein heterogenes Bild. Obgleich der erste Strategieschritt dem der untrainierten Laien und Fluglotsen entspricht, zeigen sie innerhalb des zweiten Analyseschrittes sowohl eine anzeigenabhängige Differenzierung, als auch individuell unterschiedliche Vorgehensweisen.

Die Analyse der subjektiven Nützlichkeitsurteile der trainierten Laiengruppe hinsichtlich des Konfliktbeurteilungstrainings sowie der Einsatzhäufigkeit der erlernten Strategie liefert folgendes Ergebnis. In Verbindung mit der 2D Anzeige wird die Nützlichkeit der Strategie tendenziell am größten eingeschätzt ($\bar{x}=5,0$; $\sigma_n=.174$), gefolgt von 3Ds und 3DmL ($\bar{x}=4,58$; $\sigma_n=.358$ bzw. $\sigma_n=.313$). Sowohl die geringste Nutzenbewertung als auch die geringste Nutzungshäufigkeit wird in Verbindung mit 3DoL abgegeben ($\bar{x}=4,33$; $\sigma_n=.396$). Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung und den beiden abhängigen Variablen Nützlichkeit und Häufigkeit des Strategieeinsatzes zeigt, dass die Urteilsunterschiede nicht statistisch bedeutend sind, sondern lediglich tendenziell auftreten.

Zusammenfassung der Strategieanalyse: Fluglotsen nehmen keine Anpassung ihrer gewohnten Konfliktbeurteilungsstrategien bei der Verwendung einer anderen als der 2D Anzeige vor. Laien und Piloten hingegen verändern ihre Vorgehensweise in Abhängigkeit von der verwendeten Anzeige. Geringe Urteilsübereinstimmungen weisen darauf hin, dass dies nicht systematisch geschieht. Die Beurteilung der Nützlichkeit und der Einsatzhäufigkeit der erlernten Strategie wird am größten bei Verwendung von 2D und am geringsten bei der Vogelperspektive ohne Lotdarstellung eingeschätzt.

Fünfter Analyseschritt - individuelle Präferenz

Wie im Rahmen der Strategieanalyse wird die Urteilsübereinstimmung mittels Kendalls W bestimmt und die Häufigkeit der Nennungen (h) angegeben. Die Analyse der Rangreihenbildung, welche die subjektive Präferenz für die untersuchten Anzeigen widerspiegelt, weist auf Präferenzunterschiede zwischen den Probandengruppen hin. Die untrainierten Laien geben übereinstimmend an, dass 3DmL am besten zur Aufgabenausführung geeignet sei, gefolgt von 3Ds, 3DoL und 2D ($W=.319$; $p<.001$). Als Begründung für den ersten Rangplatz von 3DmL geben sie an, dass die Erkennung von Höhendifferenzen durch die Lotdarstellung unterstützt würde ($h=3$), gleichzeitig jedoch auch die größte Anstrengung mit sich brächte ($h=3$). 3Ds wurde mit den Aussagen kommentiert, eine gute Abschätzung der Winkel auf lateraler Ebene zu ermöglichen ($h=2$), sowie einen guten Überblick über die Situation zu liefern ($h=3$). 3DoL führt den untrainierten Laien zufolge zu Schwierigkeiten bei der Einschätzung der relativen Positionen ($h=5$). 2D erfordert den Probanden zufolge ein höheres Maß an Konzentration ($h=3$).

Die Piloten geben dieselbe Reihenfolge an wie die untrainierten Laien, zeigen dabei jedoch eine geringere Übereinstimmung ($W=.181$; $p=.069$). Dies begründet sich dadurch, dass neben 3DmL auch 3Ds und 3DoL jeweils 3 Nominierungen für den ersten Rangplatz erhalten, und 3DoL von insgesamt vier Piloten den letzten Rang erhält. Sie schreiben der 3DmL Anzeige eine gute Erkennbarkeit der Objektpositionen zu ($h=2$), weisen aber gleichzeitig auf die Gefahr einer informativen Überfrachtung durch die Lotdarstellung hin ($h=4$). 3Ds werden eine gute Übersichtlichkeit und Erkennbarkeit von Objektpositionen zugeschrieben ($h=3$). 3DoL führt zu Schwierigkeiten bei der Positionserkennung ($h=5$), und 2D zu einer hohen geistigen Anstrengung durch die numerischen Höhenangaben ($h=5$).

Trainierte Laien präferieren eine andere Reihenfolge und stimmen, genau wie ihre untrainierten Kollegen und Piloten darin überein ($W=.226$; $p=.003$), dass 3DmL am besten zur Aufgabenausführung geeignet sei. 3Ds erhält den zweiten Rang. Ihre Urteile unterscheiden sich jedoch bezüglich der Ränge drei und vier von denen der Vergleichsgruppen, die sie 2D und 3DoL zuweisen. Im Gegensatz zu den untrainierten Laien und Piloten ziehen sie also 2D der 3DoL Anzeige vor. Sie geben an, dass 3DmL gut zur Erkennung von Höhenunterschieden geeignet sei und eine gute Übersicht liefere ($h=3$ bzw. $h=2$), die Lotdarstellung gleichzeitig aber auch störend wirke, und nicht nötig sei (jeweils $h=2$). 3Ds schreiben sie eine gute Eignung zur Erkennung lateraler wie auch vertikaler Positionen zu, wobei geringe vertikale Distanzen schwierig einzuschätzen seien (jeweils $h=3$). 2D wird eine gute Erkennbarkeit horizontaler Bewegungsverläufe zugeschrieben, bei gleichzeitiger Kritik an der fehlenden grafischen Höhendarbietung (jeweils $h=3$). An 3DoL wird kritisiert, dass sowohl laterale ($h=5$) wie auch vertikale Positionen ($h=2$) schwierig einzuschätzen seien. Die Lotsen zeigen ein anderes Präferenzbild und ziehen 2D stets den 3D Anzeigen vor ($W=.300$; $p=.008$). Begründet wird dies damit, dass 2D das gewohnte Bild liefere ($h=8$), 3DoL keine gute räumliche Positionsdarbietung ermögliche ($h=3$), 3DmL eine Überladung bzw. Verwirrung aufgrund der Lotdarstellung erzeuge ($h=5$), und 3Ds keine nennenswerten Vorteile gegenüber 2D biete, da geringe Höhenunterschiede grafisch nicht wahrnehmbar seien ($h=3$). Ihre Rangreihe lautet: 2D, 3DoL, 3DmL und 3Ds.

Zusammenfassung der Präferenzanalyse: Außer den Lotsen präferieren alle Probandengruppen die dreidimensionale Vogelperspektive mit Lotdarstellung. Lotsen stellen die Referenzanzeige an die erste Stelle. 3Ds erhält von Piloten und Laien stets den zweiten Rangplatz.

Sechster Analyseschritt - kogn. Leistung, Einstellung und Persönlichkeit

Zur Ermittlung der Einflüsse von kognitiver Leistung, Einstellung und Persönlichkeit wird von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, den Zusammenhang zwischen den erhobenen kognitiven Leistungsaspekten der beiden Laiengruppen, und deren Leistung mit den untersuchten Anzeigen regressionsanalytisch zu bestimmen. Da insbesondere unter schwierigen Bedingungen von einem Einfluss der Personmerkmale auszugehen ist, werden ausschließlich die 90° Konvergenzfälle mit auditiver Zusatzbeanspruchung betrachtet.

Die Analysen zeigen positive Zusammenhänge von selektiver Aufmerksamkeitsleistung, sowie negative Zusammenhänge der Leistung der phonologischen Schleife und des visuell räumlichen Notizblockes mit der verfügbaren Beobachtungszeit mit 3Ds und 3DmL ($p < .05$). In Verbindung mit 2D und 3DoL lassen sich keine bedeutsamen Zusammenhänge feststellen. Ein Vergleich der Beobachtungszeitangaben der durch einen Mediansplit in zwei kognitive Leistungsgruppen eingeteilten Probanden zeigt folgende Befunde: Mit einer hohen Aufmerksamkeitsleistung und in Verbindung mit 3Ds und 3DmL resultieren durchschnittlich 7,0% höhere Zeiturteilstwerte ($\tau = 2,81$ vs. $\tau = 2,61$) als in der Vergleichsgruppe. Mit 2D und 3DoL fällt der Gruppenunterschied rund halb so groß aus ($\tau = 2,73$ vs. $\tau = 2,64$). Die Gruppeneinteilung nach Leistung der phonologischen Schleife liefert Zeiturteilsunterschiede von 2,4% ($\tau = 2,68$ vs. $\tau = 2,75$) bei den Anzeigen mit Lot sowie 1,7% ohne Lot ($\tau = 2,66$ vs. $\tau = 2,71$). Die Einteilung anhand der Leistung des visuell-räumlichen Notizblocks deckt Unterschiede von 5,2% ($\tau = 2,66$ vs. $\tau = 2,80$) bzw. 5,8% ($\tau = 2,63$ vs. $\tau = 2,79$) zwischen den Gruppen auf.

Des Weiteren bestehen positive Zusammenhänge zwischen der räumlichen Orientierungsleistung und den Urteilsleistungen bei der Einschätzung horizontaler Separationsfälle mit 3Ds und 3DmL, nicht jedoch in Verbindung mit 2D und 3DoL ($p < .05$). Die Einteilung in zwei räumliche Orientierungsgruppen mittels Median-split liefert in Zusammenhang mit 3Ds und 3DmL eine durchschnittlich 12,8% höhere Urteilsleistung aufgrund der hohen räumliche Orientierungswerte (56,7% vs. 43,9%). Der Unterschied beträgt rund 8,8% bei Verwendung von 2D und 3DoL (55,3% vs. 46,5%).

Den Ergebnissen der Regressionsanalysen folgend, üben weder die Einstellungs- noch die Persönlichkeitsmerkmale einen Einfluss auf die Leistung aus.

Zusammenfassung der kognitiven Leistungs-, Einstellungs- und Persönlichkeitsanalyse: Während individuelle Unterschiede hinsichtlich der selektiven Aufmerksamkeitsleistung sowie der Leistung von phonologischer Schleife, visuell räumlichem Notizblock, und räumlicher Orientierungsleistung einen Einfluss auf die Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen mit den beiden 3D Anzeigen mit Loten ausüben, zeigen sich 2D und 3DoL als unabhängig davon. Probanden mit geringeren Werten im Test zur Messung der selektiven Aufmerksamkeitsleistung liefern vergleichbare Zeiturteile mit allen untersuchten Anzeigen,

wohingegen Probanden mit hohen Testwerten in Verbindung mit den beiden Lotdarstellungen eine größere verfügbare Beobachtungszeit abgeben. Die Unterschiede aufgrund der Testwerte zur Leistungsmessung von phonologischer Schleife und visuell-räumlichem Notizblock führen zu einem gegenteiligen Zusammenhang. Hohe Testwerte gehen mit geringeren Urteilstwerten bezüglich der verfügbaren Beobachtungsdauer einher. Im Falle horizontaler Separationsfälle spielt auch die räumliche Orientierungsleistung eine bedeutsame Rolle und wirkt sich mit den beiden Lotdarstellungen stärker aus als mit 2D und 3DoL. Eine hohe räumlicher Orientierungsleistung führt in Verbindung mit erstgenannten zu einer höheren Urteilsleistung als mit 2D und 3DoL, mit welchen wiederum Probanden mit geringeren Werten im Test zur räumlichen Orientierung höhere Leistungen erreichen. Im Falle vertikaler Separations- und Konfliktfälle zeigen sich keine Einflüsse der räumlichen Orientierungsleistung. Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmale üben keine bedeutsamen Einflüsse aus.

Interpretation der Befunde der Personmerkmalsanalyse

Die liberalere **Antworttendenz** von Fluglotsen und Piloten gegenüber den beiden Laiengruppen führt zum einen dazu, dass sie eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Erkennung eines Konfliktfalles erzielen, und zum anderen dazu, eher einen Separationsfall fälschlicherweise als Konflikt zu klassifizieren. Dieses Verhalten entspricht den Erwartungen an Operateure, die in sicherheitskritischen Branchen tätig und stets zu einem risikoaversen Verhalten angehalten sind. Das Ausbleiben von Antworttendenzveränderungen der beiden Gruppen mit Konfliktbeurteilungsexpertise bei Hinzunahme der auditiven Zusatzbeanspruchung spricht dafür, dass die eingesetzte Konfliktbeurteilungsstrategie die Bewältigung der erhöhten Anforderungen an die kognitiven Ressourcen unterstützt. Auch die geringe Veränderung der Antworttendenz von Piloten bei der Beanspruchungserhöhung lassen sich durch Expertisevorteile erklären. Zwar dürften sie einen größeren Anforderungsanstieg erleben als Fluglotsen und trainierte Laien, besitzen aber im Gegensatz zu den untrainierten Laien über Erfahrung im Umgang mit ähnlichen Situationen (vgl. Eichinger, 2011). Dadurch können sie auf vorhandene Schemata zurückgreifen, die sie bei der Anforderungsbewältigung unterstützen. Die im Vergleich zu den Fluglotsen relativ homogenen Antworttendenzen der Piloten und der beiden Laiengruppen über alle untersuchten Anzeigen hinweg spiegelt die Erfahrungsunterschiede der Probandengruppen wieder. Während die Fluglotsen

über ein hohes Maß an Übung mit 2D, und einem geringen Maß mit 3D verfügen, besitzen die Vergleichsgruppen mit keiner der vier Anzeigen Erfahrung. Dies dürfte der Grund für die Antworttendenzunterschiede der Fluglotsen zwischen der 2D Anzeige, mit der sie weitestgehend neutral Entscheiden, und den 3D Anzeigen sein, mit denen sie eher dazu neigen, auf einen Separations- als auf einen Konfliktfall zu schließen. Des Weiteren, und unabhängig von der Antworttendenz, führt die Verfügbarkeit einer Konfliktbeurteilungsstrategie zu einer Erhöhung der subjektiven Entscheidungssicherheit.

Dass auch **kognitive Leistungsaspekte** Relevanz besitzen zeigen die Befunde der diesbezüglichen Einflussanalysen. Sie wirken sich hauptsächlich auf die Leistung mit 3D Anzeigen aus. Allen voran spielen dabei die räumliche Orientierung, die zu höheren Urteilsleistungen führt, und die selektive Aufmerksamkeit, mit der subjektive Zeitvorteile bei der Situationswahrnehmung und -analyse in Verbindung mit 3Ds und 3DmL einhergehen, eine wichtige Rolle. Damit dürften die Leistungsvorteile von Fluglotsen und Piloten in Verbindung mit 3D auf deren räumliche Orientierungs- und selektive Aufmerksamkeitsleistung zurückzuführen sein. Dass die räumliche Orientierungsleistung gerade bei horizontalen Separationsfällen in Verbindung mit den dreidimensionalen Lotdarstellungen wichtig ist, lässt sich durch die Ambiguitäten entlang der Sichtlinie erklären. Diese stellen offenbar höhere Anforderungen an die räumliche Orientierungsleistung der Operateure. Sind diese in der Lage, diese Ambiguitäten mental aufzulösen, profitieren sie von diesen Darstellungen und erzielen höhere Urteilsleistungen als mit den Vergleichsanzeigen. Dass die Orientierungsleistung keinen Effekt in Verbindung mit 3DoL zeigt, dürfte der insgesamt geringen Urteilsleistung mit dieser Anzeige geschuldet sein. Das Fehlen einer Lotdarstellung scheint eine Orientierung derart zu erschweren, dass auch eine hohe räumliche Orientierungsleistung der Operateure nicht zu nennenswerten Verbesserungen führt. Das Ausbleiben von Vorteilen bei der Einschätzung von Konflikt- und vertikalen Separationsfällen deutet darauf hin, dass die Probanden die Höheneinschätzungen auch mit 3D eher auf einer numerischen statt visuellen Basis vornehmen. Die Beobachtungszeitvorteile bei der Situationswahrnehmung und -analyse in Verbindung mit 3Ds und 3DmL aufgrund der selektiven Aufmerksamkeitsleistung der Operateure lässt sich durch den Informationsgehalt dieser Anzeigen begründen. Durch die zusätzliche Lotdarstellung gilt es mehr visuelle Reize wahrzunehmen und zu verarbeiten als mit

den Vergleichsanzeigen, weshalb eine hohe Leistung bezüglich der Konzentration auf die jeweils relevanten Aspekte bei den Lotdarstellungen offenbar zu Vorteilen führt. Die negativen Einflüsse auf die Einschätzung der verfügbaren Beobachtungszeit in Verbindung mit hohen Leistungen von phonologischer Schleife und visuell räumlichem Notizblock bei Verwendung einer der beiden dreidimensionalen Lotdarstellungen sind weitaus schwieriger zu deuten. Möglicherweise erleben Operateure mit geringeren Testwerten bezüglich dieser beiden Arbeitsgedächtnisaspekte eine stärkere zeitliche Entlastung durch die zusätzliche Lotdarstellung als Probanden mit höheren kognitiven Leistungswerten, was sich in entsprechender Weise in ihren Zeiturteilen niederschlägt. Aufgrund deren Effektstärke ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Praxisrelevanz der Zeiturteilsunterschiede insgesamt als eher gering einzuschätzen ist.

Die Ergebnisse der **Lerneffektanalyse** weisen auf die Relevanz umfangreicher Übungsphasen mit neuen Konzepten hin, um die Vergleichbarkeit mit Referenzsystemen gewährleisten zu können. Die steilsten Lernkurven von Fluglotsen in Verbindung mit 3Ds dürften durch die geringe Intuitivität dieser Perspektive zu begründen sein, die anfänglich zu vergleichsweise geringen Urteilsleistungen führt.

Bei einem hinreichenden Übungsumfang erlaubt ihre Ähnlichkeit mit der Referenzanzeige jedoch einen optimalen **Strategieeinsatz**, so dass trainierte Laien und Fluglotsen eine optimale Leistung erzielen können. Diese Interpretation wird durch die Beurteilung der Nützlichkeit und Verwendungshäufigkeit der erlernten Konfliktbeurteilungsstrategie durch die trainierten Laien untermauert.

Die höhere Einschätzung der eigenen Urteilsleistung von Fluglotsen sowie die geringeren Zuwächse der **subjektiven Beanspruchung** durch die Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe spiegeln die tatsächliche Befundlage wieder. Dies ist insofern erwartungskonform, als sie aufgrund ihrer Expertise eher in der Lage sind ihre Leistungen einzuschätzen, als die Vergleichsgruppen. Die höhere körperliche Beanspruchung mit den 3D Anzeigen ist der Möglichkeit geschuldet, durch Kopfbewegungen Bewegungsparallaxen zu erzeugen, welche die Einschätzung der Trajektorienverläufe unterstützen. Die hohen Beiträge der Beanspruchung aufgrund der Ausführung der anstehenden Aufgaben sowie der geistigen und zeitlichen Beanspruchungsaspekte zeigen, dass die Szenarien- und Zusatzaufgaben-

bedingungen denen in der Zielsetzung erhobenen Ansprüche an die Schaffung repräsentativer Versuchsbedingungen gerecht werden.

Die Angaben zur **individuellen Präferenz** der Probanden unterstützen die bereits berichteten objektiven Leistungsvorteile der Lotdarstellungen. Die Vergabe der ersten Rangposition an die Referenzanzeige, sowie der zweiten Position an 3Ds durch die Fluglotsen entspricht den Erwartungen. Im Gegensatz zu den Vergleichsgruppen, die stets eine der 3D Anzeigen mit Lotdarstellung präferieren, sehen Fluglotsen keinen nennenswerten Zusatznutzen durch 3D, was u.a. durch die Beibehaltung ihrer gewohnten Strategien zu begründen ist, während die Vergleichsgruppen ihre Vorgehensweise situativ anpassen.

Dass Ausbleiben von Zusammenhängen zwischen den erhobenen **Einstellungs- und Persönlichkeitsmaßen** und den Urteilsleistungswerten weist auf deren vergleichsweise geringen Einfluss hin. Zwar kann aufgrund der Befundlage anderer Forschungsarbeiten davon ausgegangen werden, dass diese durchaus mit Leistungsunterschieden in Verbindung gebracht werden können, ihr Einfluss jedoch im Vergleich zu Trainingseffekten und kognitiven Leistungsaspekten vergleichsweise gering ausfällt.

Implikation für die nachfolgenden Analyseschritte

Die in den vorangegangenen Analysen dargelegten Befunde verdeutlichen, dass eine Untersuchung von Effekten aufgrund von Anzeigemerkmale zwar weitestgehend ohne den Einbezug von Szenarienmerkmalen geschehen kann, die Berücksichtigung von Situations- sowie einiger Personmerkmale jedoch unabdingbar ist. Der Grund dafür liegt darin, dass die Variation des Anzeigeconzeptes keine nennenswerten Wechselwirkungen mit Szenarienmerkmalen hinsichtlich der Urteilsleistung aufweisen, bzw. lediglich Befunde mit geringen Effektstärken im Hinblick auf die Beobachtungszeiturteile vorliegen.

Situationsmerkmale wie die vorherrschende Beanspruchung und Personmerkmale wie die individuelle Antworttendenz hingegen bestimmen maßgeblich die Leistungen der Probanden mit den Anzeigen. Erstere führt vor allem zu einer Verstärkung bestehender Effekte, wohingegen die Antworttendenz nicht nur zu Unterschiedlichen Ergebnissen zwischen den Probandengruppen, sondern auch zwischen den Anzeigen führt. Um diesen Umständen Rechnung zu tragen, werden für die in den nachfolgenden Analyseschritten durchgeführten Vergleiche

stets entweder begründete Zusammenfassungen, oder Festlegungen auf spezielle Aufgabenausprägungen vorgenommen. Expertiseunterschiede sowie kognitive Leistungsdifferenzen finden durch gruppenabhängige Datenanalysen Berücksichtigung. Die Auswirkungen situativer Beanspruchungsvariationen werden durch entsprechend getrennte Ergebnisbetrachtungen berücksichtigt. Antworttendenzunterschiede werden methodisch kontrolliert.

5.3.6 Anzeigemerkmale

Die Beantwortung der Frage, welche Effekte die spezifischen Merkmale der untersuchten Anzeigen auf die Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen ausüben (Frage c, Kapitel 5.1, Seite 56), geschieht unter Berücksichtigung aller vorangegangenen Analysen. In diesem Kapitel stehen Leistungsunterschiede aufgrund unterschiedlicher Anzeigen im Vordergrund. Zunächst findet eine von den Antworttendenzen unabhängige Diskriminationsleistungsanalyse statt. Anschließend werden die mit den untersuchten Anzeigen erzielte Effektivität und Effizienz betrachtet. Daraufhin werden die Einflüsse der Anzeige auf die subjektive Entscheidungssicherheit analysiert. Die Betrachtung von Effekten aufgrund der Priorisierung von Haupt- und Zusatzaufgabe, sowie die Analyse von Effekten der Distanzvariation und Azimutrotation vervollständigen die Anzeigemerkmalsanalyse.

Erster Analyseschritt - Diskriminationsleistung

Diskriminationsleistungswerte liefern ein Antworttendenzunabhängiges Maß zur Leistungsbeschreibung, welches die Wahrscheinlichkeit für die korrekte Einschätzung eines zufällig aus allen dargebotenen Szenarien ausgewählten Falles angibt. Die Diskriminationsleistungsanalyse weist auf tendenzielle Leistungsunterschiede aufgrund der Wahl der verwendeten Anzeigen hin. Während Fluglotsen eine von der verwendeten Anzeige nahezu unabhängige Leistung erzielen, resultiert im Falle der Piloten eine höhere Leistung durch den Einsatz der vogelperspektivischen, stereoskopischen 3D Anzeigen. Trainierte Laien hingegen erzielen in Verbindung mit 2D die höchste Leistung. Untrainierte zeigen höhere Leistungen bei Verwendung einer Draufsicht. Tabelle 5-10 auf Seite 133 zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse der Flächenberechnungen, die nicht zwischen den Ausprägungen von Szenarien- und Situationsmerkmalen differenzieren.

Tabelle 5-10: Über Szenarien- und Situationsmerkmale zusammengefasste Berechnungsergebnisse der Diskriminationsleistungen und deren Standardfehler (%)

	2D	3Ds	3DoL	3DmL
untrainierte Laien	86,4; 1,0	86,6; 1,0	85,9; 1,0	85,7; 1,0
trainierte Laien	88,9; 0,9	86,8; 1,0	87,5; 1,0	86,6; 1,0
Piloten	87,2; 1,0	87,6; 1,0	88,0; 1,0	88,2; 1,0
Fluglotsen	89,8; 0,8	89,5; 0,9	89,2; 0,9	89,7; 0,8
Alle Probanden	88,2; 0,5	87,7; 0,5	87,7; 0,5	87,6; 0,5

Zusammenfassung der Diskriminationsleistungsanalyse: Die Wahl der Anzeige wirkt sich im Falle der Fluglotsen nicht nennenswert aus. Ihre Diskriminationsleistungen sind vergleichsweise homogen. Piloten hingegen profitieren von der Verwendung der Vogelperspektiven. Trainierte Laien erzielen mit 2D die höchsten Leistungen, untrainierte Laien hingegen mit den beiden Draufsichten.

Zweiter Analyseschritt - Effektivität

Wie in der Operationalisierung erläutert, wird die Konflikterkennungsleistung als Maß zur Beschreibung der Effektivität verwendet, und ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl an tatsächlichen Konflikten, die nicht ganz sicher als Separationsfall klassifiziert werden, und der Gesamtanzahl aller Konfliktfälle.

Die Betrachtung der Effektivitätswerte zeigt, dass die Probanden bei Verwendung einer der 3D Anzeigen im Mittel eine stets höhere Konflikterkennungsleistung erzielen als mit 2D. Am größten fällt dieser Unterschied bei Fluglotsen aus. Die Beanspruchungserhöhung führt zu einer weiteren Vergrößerung des Effektivitätsunterschiedes zugunsten von 3D, da die Konflikterkennungsrate bei Verwendung einer der 3D Anzeigen stets weniger stark abnimmt als mit 2D. Im Vergleich zu den Fluglotsen resultieren bei Piloten und Laien ohne auditive Zusatzbeanspruchung geringere Effektivitätsunterschiede aufgrund der eingesetzten Anzeige. Eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung und den Innersubjektfaktoren Anzeige und auditive Zusatzbeanspruchung sowie dem Zwischensubjektfaktor Probandengruppe zeigt eine Effektstärke von $\eta^2=.058$ für die Anzeigenvariation ($p=.058$; $F(3, 129)=2.63$). Die Effektstärken der Interaktionen zwischen den Faktoren Anzeige und Probandengruppe sowie Anzeige, Probandengruppe und

auditive Zusatzaufgabe fallen geringer aus. Abbildung 5-10 zeigt die Konflikterkennungsleistung der Fluglotsen in Verbindung mit den untersuchten Anzeigen sowohl ohne als auch mit auditiver Zusatzbeanspruchung.

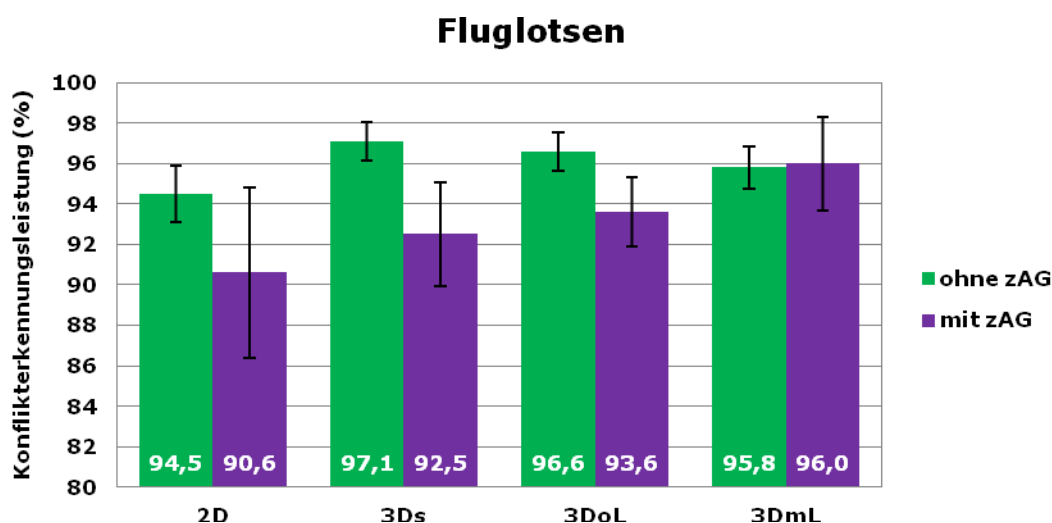


Abbildung 5-10: Konflikterkennungsleistung von Fluglotsen sowohl ohne als auch mit auditiver Zusatzbeanspruchung (zAG) auf Basis von 90° Konvergenzfällen. Die Fehlerbalken indizieren Standardfehler

Tabelle 5-11 liefert eine für jede Probandengruppe und Anzeige separate Ergebnisübersicht der Effektivitätsanalyse auf Basis von 90° Konvergenzfällen.

Tabelle 5-11: Konflikterkennungsleistung (%) sowohl ohne als auch mit auditiver Zusatzbeanspruchung ohne Differenzierung zwischen Szenarienmerkmalen

	2D	3Ds	3DoL	3DmL
untrainierte Laien	98,2 / 90,6	99,1 / 95,8	99,1 / 98,4	97,8 / 94,2
trainierte Laien	95,2 / 96,4	97,8 / 96,9	96,9 / 96,9	97,8 / 96,9
Piloten	97,8 / 94,9	99,1 / 96,4	100 / 100	98,2 / 96,9
Fluglotsen	94,5 / 90,6	97,1 / 92,5	96,6 / 93,6	95,8 / 96,0
Mittelwert	96,4 / 93,1	98,3 / 95,4	98,1 / 97,2	97,4 / 96,0

Zusammenfassung der Effektivitätsanalyse: Die Verwendung einer 3D Anzeige resultiert in einer höheren Konflikterkennungsleistung als der Einsatz von 2D. Die Hinzunahme der auditiven Zusatzbeanspruchung verdeutlicht diesen Effektivitätsvorteil von 3D, da die Leistungsabnahme mit 2D stärker ausfällt als mit 3D.

Die Unterschiede aufgrund der verwendeten Anzeige sind bei der Überprüfung einer gerichteten Hypothese auf einem α -Niveau von 5% statistisch bedeutsam, nicht jedoch bei einer ungerichteten Hypothese.

Dritter Analyseschritt - Effizienz

Zur Effizienzanalyse werden die Leistungswerte der Lotsen aufgrund ihrer Referenzstellung als Vergleichsbasis verwendet. Da sie mit im Mittel 3DmL die höchste Konflikterkennungsrate erzielen, werden diese Werte als Ausgangspunkt für die Falschalarmratenberechnungen verwendet. Tabelle 5-10 liefert eine Übersicht über die Berechnungsergebnisse.

Tabelle 5-12: Falschalarmrate (%) bei einer den Lotsen entsprechenden Konflikterkennungsleistung in Verbindung mit 3DmL sowohl ohne (95,8%) als auch mit auditiver Zusatzaufgabe (96,0%) auf Basis von 90° Konvergenzfällen

	2D	3Ds	3DoL	3DmL
untrainierte Laien	45 / 69	40 / 67	44 / 65	47 / 67
trainierte Laien	42 / 60	45 / 57	50 / 61	44 / 62
Piloten	48 / 69	46 / 72	23* / 31*	40 / 67
Fluglotsen	49 / 57	45 / 54	46 / 55	44 / 49
Median	46 / 64	45 / 62	45 / 58	44 / 64

* eingeschränkte Interpretierbarkeit durch vergleichsweise geringe Passungen der Isosensitivitätslinien

Ohne auditive Zusatzaufgabe resultiert die höchste Falschalarmrate bei Verwendung von 2D (46%). Mit 3D wird eine im Mittel geringere Anzahl an Separationsfällen fälschlicherweise als Konflikt klassifiziert (44%). Die Beanspruchungserhöhung durch Hinzunahme der auditiven Zusatzbeanspruchung führt zu einer generellen Effizienzverringerung. Fluglotsen zeigen dabei die geringste Veränderung, gefolgt von den trainierten Laien. Während die Effizienzabnahmen der Piloten und der beiden Laiengruppen zu weitgehend vergleichbaren Falschalarmraten führen, resultieren im Falle der Fluglotsen unterschiedliche Werte. Die erhöhte Beanspruchung führt dazu, dass sie die höchste Effizienz in Verbindung mit 3DmL (49%), und die geringste unter Einsatz von 2D (57%) erzielen.

Zusammenfassung der Effizienzanalyse: Die Hinzunahme einer auditiven Zusatzbeanspruchung führt erwartungsgemäß zu einer generellen Abnahme der Effizienz. Die Fluglotsen zeigen sowohl die insgesamt geringsten Einbußen, als auch die größten Unterschiede zwischen den untersuchten Anzeigen. Unter Einsatz von 3DmL erzielen sie eine um 8% bzw. 5% höhere Effizienz als mit der Referenzanzeige, abhängig davon, ob die auditive Zusatzbeanspruchung vorliegt oder nicht.

Vierter Analyseschritt - Entscheidungssicherheit

Aufbauend auf die Annahmen des Modells von Bissieret (1981) zur Beschreibung des Einflusses der Entscheidungssicherheit auf das Verhalten der Operateure sollen diesbezügliche Unterschiede zwischen den untersuchten Anzeigen betrachtet werden. Hierzu werden die Häufigkeiten herangezogen, mit denen im Falle eines tatsächlichen Konflikt- bzw. Separationsfalles sicher auf einen solchen geschlossen wird, sowie die durch Transformationen der Ratingskala zur Einschätzung des Szenarienausganges gewonnenen Entscheidungssicherheitswerte.

Unabhängig von der Probandengruppe zeigt sich im Mittel kein nennenswerter Entscheidungssicherheitsunterschied zwischen den untersuchten Anzeigen bei tatsächlichem Vorliegen eines Konfliktes. Mit 2D wird in 15,9% der Fälle sicher auf einen Konflikt geschlossen. Mit 3Ds, 3DoL und 3DmL liegen diese Anteile bei 14,9%, 15,3% sowie 15,7%. Ein anderes Bild zeigt sich bei den Separationsfällen. Bei Verwendung von 2D wird häufiger ein sichereres Separationsurteil abgegeben (20,0%) als mit jeder der untersuchten 3D Anzeigen 3Ds, 3DoL und 3DmL (15,0%, 12,1%, 14,3%). Bei vertikalen Separationsfällen hingegen kehrt sich dieser Effekt um, und der Einsatz von 3D resultiert in einer höheren Anzahl sicherer Separationsurteile (70,7%, 65,1%, 68,8%) als die Verwendung von 2D (64,8%). Abbildung 5-11 auf Seite 136 zeigt die Auswirkung der Dimensionsvariation auf die Entscheidungssicherheit für die einzelnen Anzeigen und Probandengruppen auf Basis der Entscheidungssicherheitswerte bei Vorliegen der auditiven Zusatzbeanspruchung. Mit auf 0% standardisierten Werten für jede Dimension bildet 2D die Vergleichsbasis.

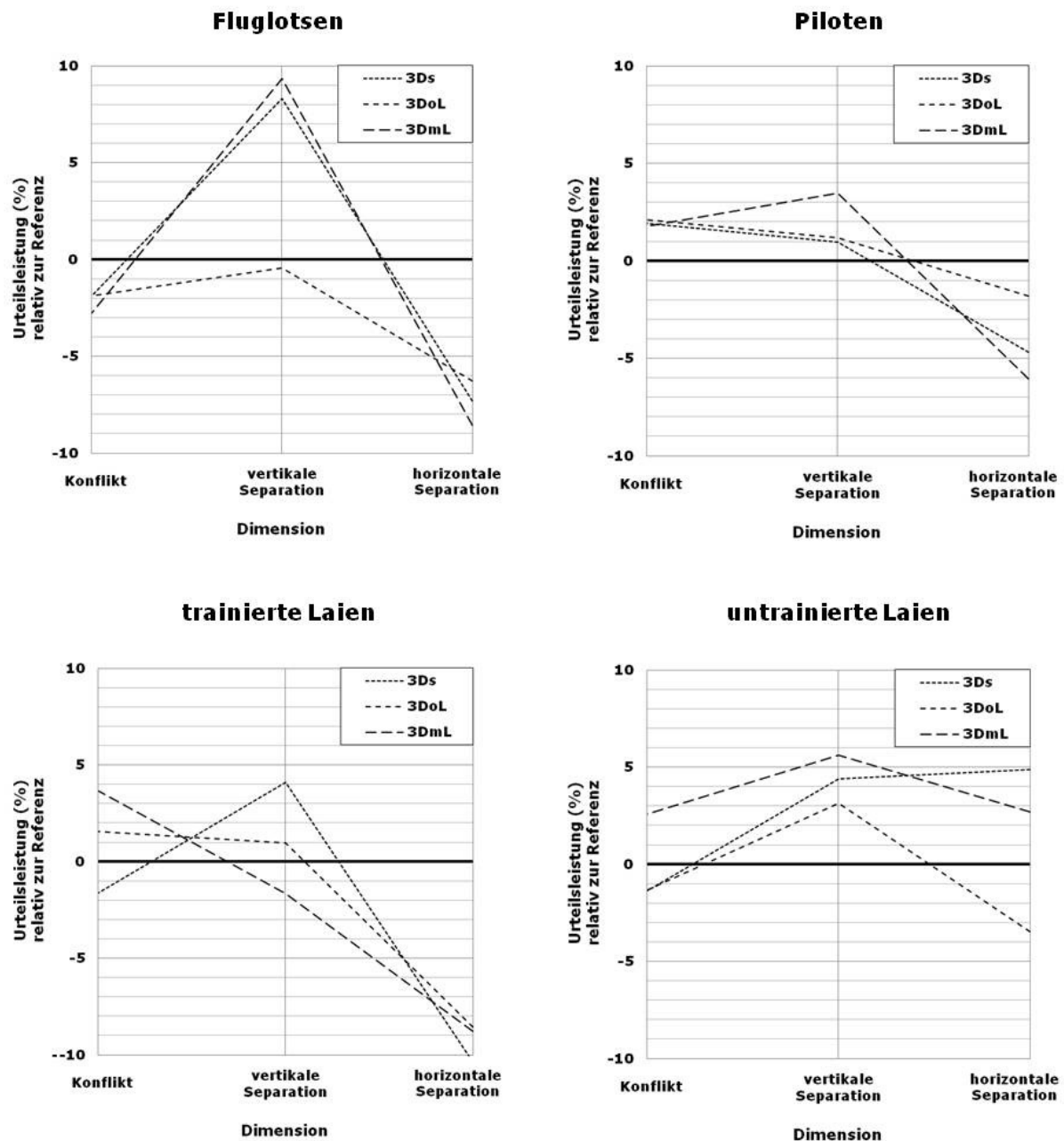


Abbildung 5-11: Entscheidungssicherheit in Abhängigkeit von der Dimension bei Vorliegen der auditiven Zusatzbeanspruchung. 2D bildet mit einem auf 0 standardisierten Wert die Referenz

Zusammenfassung der Entscheidungssicherheitsanalyse: Bei Konfliktfällen wird mit allen Anzeigen ein vergleichbares Maß an Entscheidungssicherheit erreicht, wohingegen 2D zu einer höheren Entscheidungssicherheit bei Vorliegen horizontaler, und 3D zu einem diesbezüglichen Vorteil bei vertikalen Separationsfällen führt. Bei Fluglotsen tritt dieser Effekt am deutlichsten auf. Die Verwendung von Lotdarstellungen führt zu einer Erhöhung der Entscheidungssicherheit bei der Einschätzung vertikaler Bewegungsverläufe mit 3D.

Fünfter Analyseschritt - Priorisierung von Haupt- und Zusatzaufgabe

Da eine hohe Leistung insbesondere unter schwierigen Bedingungen und bei hoher Beanspruchung wichtig ist, wird in diesem Abschnitt ausschließlich die Bedingung mit auditiver Zusatzbeanspruchung betrachtet. Hierbei wird berücksichtigt, dass bei zeitgleicher Ausführung zweier Aufgaben prinzipiell die Möglichkeit besteht, eine der beiden Aufgaben zugunsten der anderen zu vernachlässigen (vgl. Wickens & Hollands, 1999). Deshalb wird überprüft, wie sich die Leistungen in der auditiven Zusatzaufgabe einerseits und die Leistung in der Konfliktbeurteilungsaufgabe andererseits verhalten. Dies lässt sich durch ein kovarianzanalytisches Berechnungsmodell ermitteln. Mit Hilfe dessen lassen sich, genau wie bei einer einfachen Varianzanalyse, die Varianzverhältnisse bezüglich der Werte der abhängigen Variable innerhalb einer jeden Stufe mit denen zwischen den Stufen der unabhängigen Variable ermitteln, und auf statistische Bedeutsamkeit hin prüfen. Im Gegensatz zur einfachen Varianzanalyse wird in der Kovarianzanalyse der Varianzanteil, der auf die Variation der Kovariate zurückgeht, aus der Gesamtvarianz herauspartialisiert. Etwaige Unterschiede zwischen den Stufen der unabhängigen Variable, die in der Kovarianzanalyse statistisch bedeutsam ausfallen, gelten damit unabhängig von der Variation der Kovariate. D.h., dass Unterschiede zwischen den Stufen der unabhängigen Variable auch dann bestehen, wenn sich die Ausprägung der Kovariate verändert. Der Einfluss den die Variation der unabhängigen auf die abhängige Variable ausübt ist damit unabhängig von der Kovariate, die damit vernachlässigt werden kann. In diesem Fall ist es von Interesse, ob etwaige Urteilsleistungsunterschiede aufgrund der Verwendung verschiedener Anzeigen unabhängig von der Leistung in der auditiven Zusatzaufgabe bestehen. Dazu wird die Zusatzaufgabenleistung als Kovariate in das varianzanalytische Modell aufgenommen. Aufgrund der in den vorangegangenen Analysen identifizierten Strategieunterschiede wird die Gruppenzugehörigkeit als Zwischensubjektfaktor eingeführt. Da durch die fehlende statistische Zuordenbarkeit der Leistungswerte in der Zusatzaufgabe mit einer jeweiligen Anzeige zu den entsprechenden Urteilsleistungswerten bei der erforderlichen Datenstruktur innerhalb eines klassischen Messwiederholungsdesigns nicht möglich ist, lässt sich zunächst keine statistische Kontrolle der Zusatzaufgabenleistung realisieren. Durch eine Ipsativierung der Urteilsleistungswerte ist es jedoch möglich, eine einfache Varianzanalyse ohne Messwiederholung statt

einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung durchzuführen. Das Ergebnis ist in beiden Fällen das Selbe. Bei der Ipsativierung werden die an einem Individuum erhobenen Messwerte mit einem jeden Anzeigekonzept am individuellen Gesamtmittelwert zentriert, und gleichen sich damit in ihrer Summe aus. Somit bleiben ausschließlich die Leistungsdifferenzen aufgrund der Anzeigenvariation bestehen. Unterschiede zwischen Probanden hingegen werden durch diese Prozedur egalisiert, was aufgrund der im vorangegangenen Kapitel nachgewiesenen Unabhängigkeit der Anzeigeunterschiede von der Gruppenzugehörigkeit legitim ist. Die ipsativierten Leistungswerte der Probanden, die innerhalb des Messwiederholungsdesigns für jedes Konzept in einer separaten Spalte abzutragen wären, lassen sich nun in einer Spalte aufzulisten. Somit lässt sich nicht nur eine klassische Varianzanalyse durchführen, die ein dem einer Varianzanalyse mit Messwiederholung entsprechendes Ergebnis liefert, sondern auch eine weitere Spalte einführen, welche die Werte der Zusatzaufgabenleistung beinhaltet und die Kovarianzanalyse ermöglicht (vgl. Bortz, 2005).

Die Analyse zeigt, dass der Einsatz unterschiedlicher Anzeigen weder im Falle der Laien noch der Piloten zu bedeutsamen Urteilsleistungsunterschieden führt. (vgl. Tabelle 7-38, Seite 216 bis Tabelle 7-41, Seite 218). Im Falle der Fluglotsen zeigt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den beiden Faktoren Anzeigekonzept und Dimension. Die Variation der Anzeige an sich führt zu keinen statistisch bedeutsamen Mittelwertunterschieden. Die Leistungen in der auditiven Zusatzaufgabe hingegen unterscheiden sich signifikant zwischen den untersuchten Anzeigen. Während die höchsten Urteilsleistungswerte bei der Erkennung von Konflikten in Verbindung mit 2D erzielt werden, liegen diese mit 3DoL und 3Ds um je 1,9% und mit 3DmL um 2,8% darunter. Auch bei der Einschätzung horizontaler Separationsfälle erzielen sie die höchste Leistung mit 2D. Mit 3DoL fällt diese um 6,3%, mit 3Ds um 7,3%, und mit 3DmL um 8,6% geringer aus. Bei Vorliegen vertikaler Separationsfälle wird die höchste Urteilsleistung mit 3DmL erzielt. Im Vergleich zu 2D resultieren mit 3DmL um 9,3%, und mit 3Ds um 8,3% höhere Urteilsleistungswerte. 3DoL führt zu 0,5% geringeren Werten. Da es sich bei diesem Effekt um eine disordinale Interaktion handelt, ist keiner der Faktoren global interpretierbar. Abbildung 5-12 auf Seite 139 veranschaulicht die Interaktion zwischen Anzeigekonzept und Dimension anhand der Urteilsleistungswerte der Fluglotsen bei 90° Konvergenz und auditiver Zusatzbeanspruchung.

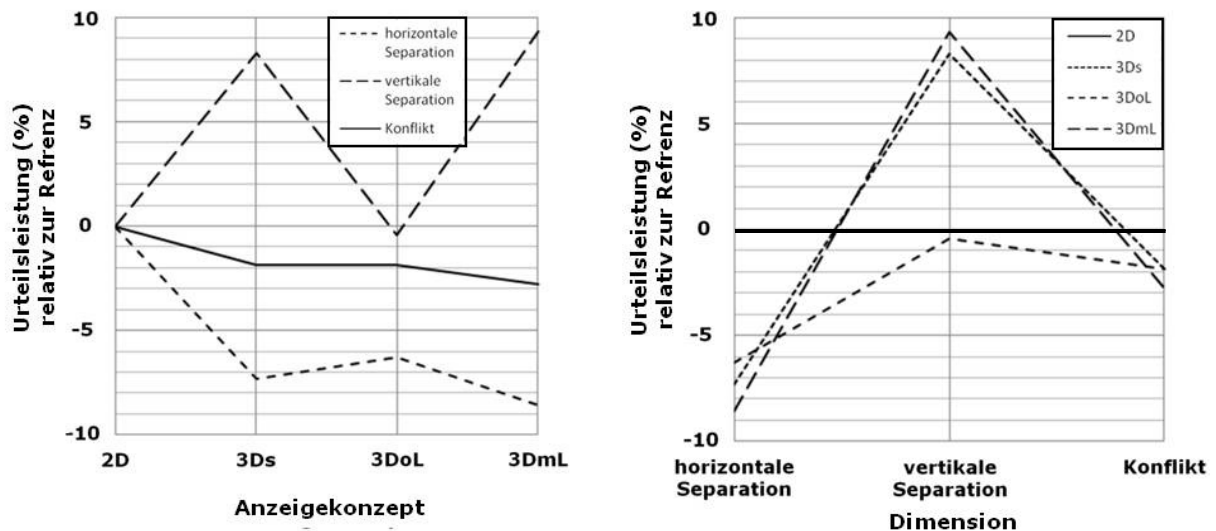


Abbildung 5-12: Interaktionseffekt zwischen Anzeigeformat und Dimension auf Basis der Urteilsleistungswerte von Fluglotsen bei rechtwinkliger Konvergenz und auditiver Zusatzaufgabe. 2D bildet mit einem Wert von 0 stets die Referenz

Zusammenfassung der Priorisierungsanalyse von Haupt- und Zusatzaufgabe: Insgesamt unterscheiden sich weder die Leistung in der auditiven Zusatzaufgabe, noch die Urteilsleistung zwischen den Anzeigen. Ausschließlich im Falle von Fluglotsen zeigen sich Leistungsunterschiede bei der Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen in Abhängigkeit von der verwendeten Anzeige. Mit 2D erzielen sie eine höhere Leistung bei der Einschätzung von Konflikten und horizontalen Separationsfällen. Bei der Einschätzung vertikaler Separationsfälle hingegen profitiert sie von den 3D Anzeigen mit Lotdarstellungen. Ohne Lot besteht kein Vorteil durch den Einsatz von 3D. Im Rahmen von Leistungsvergleichen zwischen 2D und 3D Anzeigen kommt der Berücksichtigung der Dimension eine bedeutsame Rolle zu.

Sechster Analyseschritt - Distanzvariation

Zur Ermittlung des Einflusses der Distanzvariation auf die Urteilsleistung mit den untersuchten Anzeigen wird eine deskriptive Analyse der Werte in jeder Separationsbedingung auf Basis der Daten der Fluglotsen als Referenzgruppe durchgeführt. In der Bedingung ohne auditive Zusatzaufgabe und bei vergleichsweise großen Separationsabständen von 3.000 ft zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Anzeigen. Sie liegen zwischen 98,3% und 98,9%. Die Reduktion der vertikalen Separation von 3.000 ft auf 2.000 ft hingegen führt zu Leistungseinbußen von 1,4% bei 3DoL, bzw. von 2,0% bei 3Ds. In Verbindung

mit 2D und 3DmL zeigen sich keine Verringerungen. Eine weitere Reduktion der Separationsdistanz auf 1.000 ft führt hingegen zu Leistungsabnahmen mit allen Anzeigen. Im Falle von 3DoL zeigen sich mit 13,8% auf 84,6% die gravierendsten Abnahmen. Bei Verwendung von 3Ds, 3DmL und 2D zeigen sich geringere Einbußen um 10,3%, 9,9% bzw. 9,3% auf 88,6%, 89,1% bzw. 89,0%. Die Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe führt zu einer veränderten Befundlage. Während eine Separationsdistanz von 2.000 ft dazu führt, dass mit 2D, 3Ds und 3DoL Werte von 97,0%, 96,6% und 95,9% erzielt werden, erreichen die Fluglotsen die höchste Leistung von 98,8% mit 3DmL. Die Distanzverringerung auf 1.000 ft führt zur größten Leistungsabnahme mit 2D um 16,1%. Die 3D Anzeigen liefern Einbußen von 12,9%, 12,4% und 10,5% mit 3DmL, 3Ds und 3DoL. Die beiden Grafiken in Abbildung 5-13 veranschaulichen diese Befunde.

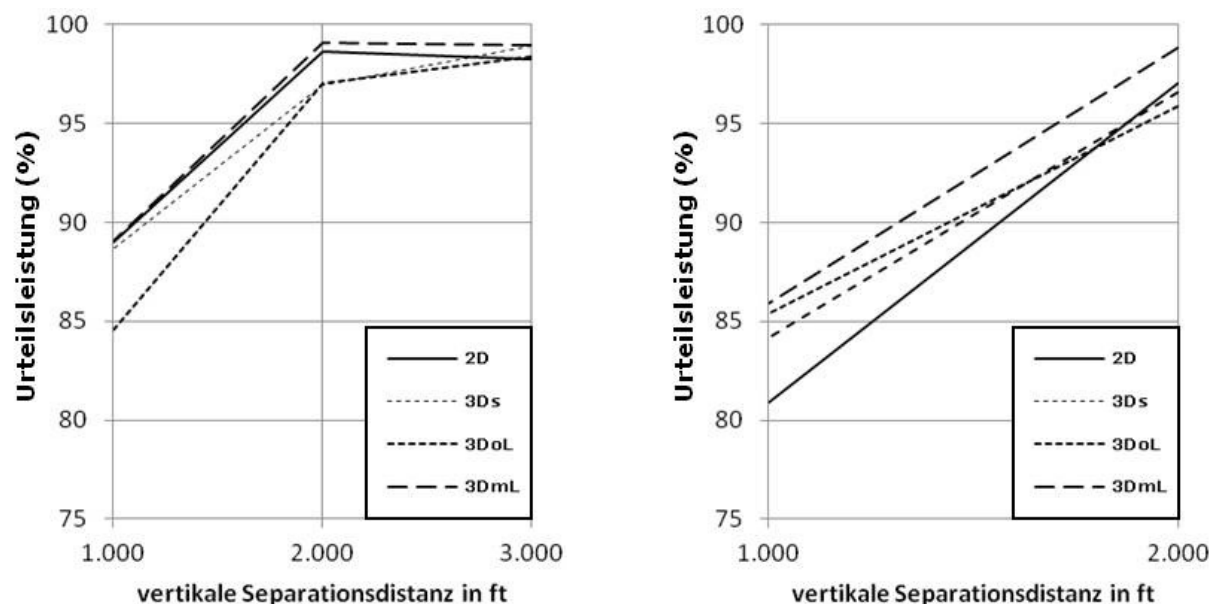


Abbildung 5-13: Urteilsleistungen mit den verwendeten Anzeigen bei Variation der vertikalen Separationsdistanz. Die Datenbasis bilden die Werte der Fluglotsen bei 90° Konvergenzfällen ohne (linkes Bild) bzw. mit auditiver Zusatzaufgabe (rechtes Bild)

Die Betrachtung der Distanzvariationen auf horizontaler Ebene zeigt, dass 2D bei einer Separationsdistanz von 1 NM zur höchsten Urteilsleistung führt. Dies gilt sowohl für die Bedingung mit als auch ohne auditive Zusatzaufgabe. Die 3D Anzeigen liefern ein untereinander vergleichbares Leistungsniveau, welches im Mittel um 8,1% (ohne) bzw. 9,2% (mit auditiver Zusatzaufgabe) geringer ausfällt als bei Verwendung von 2D. Ein anderes Bild zeigt sich, wenn die horizontale Separationsdistanz auf 0,5 NM reduziert wird. Ohne auditive Zusatzaufgabe er-

zielen die Fluglotsen die höchste Leistung in Verbindung mit 3DmL. Die Leistungsabnahme durch die Distanzreduktion beträgt 20,8%. Mit 2D hingegen fällt ihre Leistung um 33,4% auf 51,2% ab, womit diese 3,4% unter dem Niveau von 3DmL liegt. Die Leistungsabnahmen mit 3Ds und 3DoL betragen 32,6% bzw. 27,4% auf 45,8% bzw. 48,5%. Mit auditiver Zusatzaufgabe hingegen resultiert die höchste Urteilsleistung wiederum mit 2D und liegt bei 56,2%. 3DoL liefert einen mit 2D vergleichbaren Wert. 3DmL und 3Ds zeigen untereinander ähnliche, aber mit 47,7% und 46,5% geringere Leistungen. Die beiden Grafiken in Abbildung 5-14 veranschaulichen diese Befundlage.

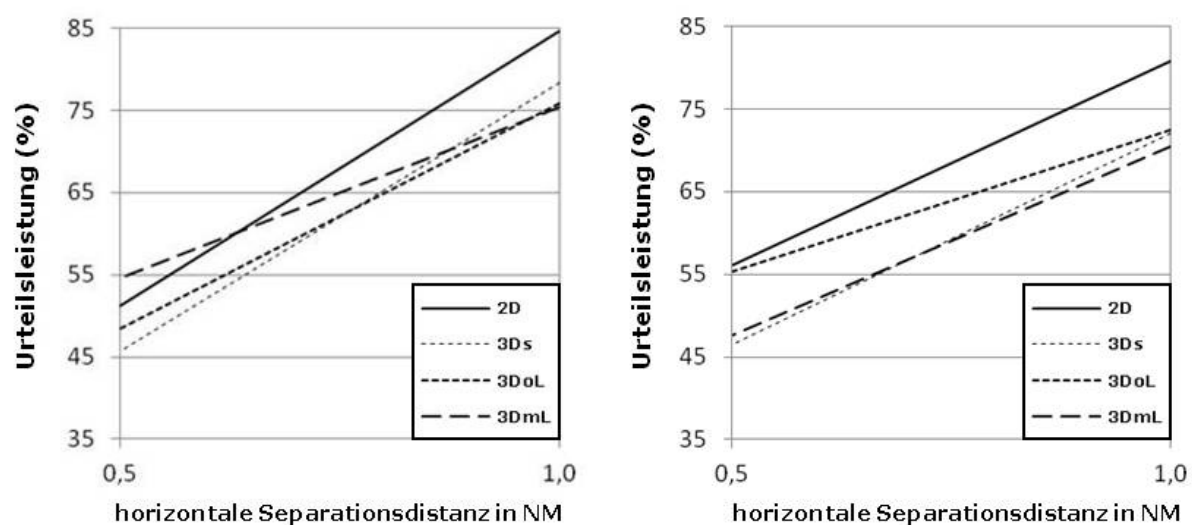


Abbildung 5-14: Urteilsleistungen mit den verwendeten Anzeigen bei Variation der horizontalen Separationsdistanz. Die Datenbasis bilden die Werte der Fluglotsen bei 90° Konvergenzfällen ohne (linkes Bild) bzw. mit auditiver Zusatzaufgabe (rechtes Bild)

Zusammenfassung der Distanzanalyse: Die Einschätzung zukünftiger Luftfahrzeugseparationen durch Fluglotsen profitiert vor allem dann von dreidimensionalen Darstellungen, wenn es sich um vertikale Separationsfälle handelt. Das Vorliegen einer auditiven Zusatzbeanspruchung verstärkt diesen Vorteil weiter. Vor allem die zusätzliche Lotdarstellung unterstützt das Potential von 3D. Insbesondere die Verwendung einer Vogelperspektive mit Lot führt zu vergleichsweise hohen Urteilsleistungen. Dieser Effekt tritt umso stärker hervor, je geringer die Separationsdistanz ausfällt. Distanzen, die größer als 2.000 ft sind, führen zum Verschwinden der Vorteile von 3D. Im Falle horizontaler Separationen hingegen liefern die Fluglotsen in Verbindung mit 2D die höchste Urteilsleistung. Das

Vorliegen der auditiven Zusatzaufgabe führt auch hierbei zur Verstärkung des Effektes und bei 3D mit Lotdarstellungen zu einem stärkeren Leistungsabfall.

Siebter Analyseschritt - Azimutrotation

Zur Ermittlung des Einflusses einer aktiven Azimutrotation bei Verwendung einer Vogelperspektive wird auf die Daten der von Petermeier (2012) durchgeführten Studie zurückgegriffen. Bei dieser handelt es sich um eine weitere Untersuchung, die im Rahmen des Verbundprojektes iPort durchgeführt wurde, und u.a. der Überprüfung von Rotationseffekten dient. Um in der vorliegenden Arbeit den Einfluss einer vom Operateur aktiv steuerbaren Azimutrotation untersuchen zu können, wurden in der Studie von Petermeier (ebd.) dieselben rechtwinkligen Konvergenzfälle verwendet, wie in dieser Untersuchung. Da die Untersuchung von Petermeier (ebd.) mit 20 untrainierten Laien durchgeführt wurde, ist ein direkter Vergleich mit der entsprechenden Probandengruppe dieser Arbeit möglich.

Ohne Hinzunahme der auditiven Zusatzaufgabe zeigen sich in Verbindung mit 3Dr, der von Petermeier (ebd.) eingesetzten vogelperspektivischen und stereoskopischen 3D Anzeige mit Rotationsfunktion, stets geringere Leistungswerte bezüglich aller Leistungsmaße. Die Berechnung der Falschalarmrate auf Basis einer unter ansonsten identischen Bedingungen mit 2D erzielten Konflikterkennungsrate weist höhere Leistungswerte durch die Verwendung von 3Dr aus. Die mit 3Dr unter der Zusatzbeanspruchungsbedingung erzielte Konflikterkennungsleistung entspricht weitestgehend der von 3DmL. Beide liegen rund 4% über derer von 2D. 3DmL führt insgesamt zur kleinsten, und 3Dr zur größten Falschalarmrate. Tabelle 5-13 liefert eine Ergebnisübersicht.

Tabelle 5-13: Diskriminationsleistung, Konflikterkennungsrate und Falschalarmrate (%) untrainierter Laien auf Basis von 90° Konvergenzfällen und einer von 2D entsprechenden Konflikterkennungsrate von 98,2% ohne bzw. 90,6% mit auditiver Zusatzbeanspruchung

	2D	3DmL	3Dr
ohne zAG	86,2 / 98,2 / 49	84,8 / 97,8 / 49	81,9 / 95,0 / 66
mit zAG	77,2 / 90,6 / 55	76,1 / 94,2 / 54	73,2 / 94,0 / 58

Zusammenfassung der Azimutrotationsanalyse: Ohne auditive Zusatzbeanspruchung führt die Rotationsfunktion stets zur geringsten Leistung. Bei Vorliegen der auditiven Zusatzbeanspruchung resultiert lediglich gegenüber 2D ein Effektivitätsvorteil, der gleichzeitig mit einer geringeren Effizienz einhergeht, so dass die Azimutrotation insgesamt keinen Vorteil gegenüber der 3D Variante ohne Rotationsfunktion bietet.

Interpretation der Anzeigemerkmalsanalyse

Hinsichtlich der **Diskriminationsleistung** führt der Einsatz stereoskopischer 3D Anzeigen mit einer Ansicht aus der Vogelperspektive vor allem für Piloten zu einem Vorteil. Dieses Ergebnis sowie der Befund, dass Fluglotsen im Mittel keine nennenswerten Leistungsunterschiede, und die beiden Laiengruppen tendenziell geringere Leistungen in Verbindung mit 3D erzielen, legt den Schluss nahe, dass zwischen kognitiven Leistungsaspekten und der Aufgabenbewältigung mit 3D ein positiver Zusammenhang besteht. Die Leistung mit 2D wird offenbar in geringerem Ausmaß durch kognitive Leistungsaspekte beeinflusst. Gleichzeitig führt das Vorhandensein einer für die Verwendung von 2D optimierten Konfliktbeurteilungsstrategie zu negativen Einflüssen auf die Leistung mit 3D Anzeigen. Es lässt sich also ein negativer Transfer des mit 2D erworbenen Strategiewissens auf die Aufgabenbearbeitung mit 3D Anzeigen verzeichnen und annehmen, dass eine Anpassung der Konfliktbeurteilungsstrategie zu einer weiteren Leistungsverbesserung von 3D Anzeigen beiträgt.

Die Vorteile von 3D im Hinblick auf die **Effektivität** belegt deren Leistungspotential. Die Verstärkung dieses Effektivitätsvorteils unter auditiver Zusatzbeanspruchung entspricht der Erwartung, die sich aus den Modellen zur Beschreibung menschlicher Informationsverarbeitung ergibt, und ist durch einen Interferenzvorteil analoger Höhendarstellungen zu begründen.

Dass durch die Verwendung von 3D nicht nur eine höhere Effektivität, sondern gleichzeitig auch eine höhere **Effizienz** erzielt wird, zeigt, dass die Effektivitätsvorteile nicht auf einer erhöhten Falschalarmrate basieren. Diese Befunde sowie das Ausbleiben nennenswerter Diskriminationsleistungsunterschiede resultieren aus den zugrundeliegenden Antworttendenzunterschieden. Vor allem Fluglotsen zeigen ein von der verwendeten Anzeige abhängiges Antwortverhalten, und weisen in Verbindung mit 2D ein nahezu neutrales, und im Vergleich zu 3D eine

relativ liberale Antworttendenz auf. Da die Vergleichsgruppen erheblich geringere Antworttendenzunterschiede zeigen als die Fluglotsen lässt sich annehmen, dass Übungseffekte mit der Referenzanzeige dafür verantwortlich sind.

Bezüglich der **Entscheidungssicherheit** zeigt sich ein Vorteil der Referenzanzeige bei der Einschätzung lateraler Bewegungsverläufe, was gemäß dem Erklärungsansatz von Smallman et al (2001) auf die Ambiguitäten entlang der Sichtlinie bei Verwendung von 3D Anzeigen zurückzuführen ist. Diese Interpretation wird durch die Umkehr dieses Effektes bei der Einschätzung vertikaler Separationsfälle untermauert. Die Darbietung von Loten dürfte deshalb zu einer weiteren Vergrößerung der Entscheidungssicherheit mit 3D bei der Einschätzung vertikaler Bewegungsverläufe führen, da die Lotlängen eine zusätzliche Informationsquelle zur Bestimmung der Objektpositionen bietet. Dies führt außerdem zu Verbesserungen der lateralen Bewegungseinschätzung. Die geringen Entscheidungssicherheitsunterschiede zwischen den untersuchten Anzeigen bei Vorliegen von Konfliktfällen zeigt, dass sich die o.g. Vor- und Nachteile nahezu aufheben, wenn eine Entscheidung nicht auf alleiniger Basis lateraler oder vertikaler Bewegungsinformationen getroffen werden kann, sondern den Einbezug beider Aspekte erfordert. Die Wechselwirkung zwischen Anzeige und Dimension verstärkt sich bei der Hinzunahme der auditiven Zusatzbeanspruchung weiter, was sich durch den höheren Informationsgehalt bei Einsatz von Lotdarstellungen erklären lässt. Ohne die auditive Beanspruchung können die Zusatzinformationen der Lotdarstellungen offenbar problemlos verarbeitet werden. Bei der Beanspruchungserhöhung hingegen scheinen die Probanden durch die Lote überfordert zu werden, was Entscheidungssicherheitseinbußen bei der Einschätzung horizontaler Separationsfälle nach sich zieht, die ohne Lote nicht auftreten. Die Unterschiede zwischen 2D und 3D werden insbesondere bei Fluglotsen deutlich, was vermutlich daran liegt, dass sie aufgrund ihres hohen Maßes an Übung mit der Referenzanzeige gerade bei horizontalen Separationsfällen eine größere Sicherheit als mit 3D erleben. Dass sie von allen Probandengruppen auch die größte Entscheidungssicherheit bei der Einschätzung vertikaler Bewegungsverläufe durch die Verwendung von 3D erzielen, dürfte zum einen auf Übungseffekte, und zum anderen auf kognitive Ressourcen- und Leistungsaspekte zurückzuführen sein. Erstere Annahme wird dadurch gestützt, dass sie ausschließlich dann von 3D profitieren, wenn die Anzeige über eine zusätzliche Lotdarstellung verfügt, was den Einsatz ihrer

gewohnten Konfliktbeurteilungsstrategien zwar nicht optimal, aber besser unterstützt, als dies durch die Vogelperspektive ohne Lotdarstellungen der Fall ist. Letztere Annahme basiert auf den weiter oben bereits beschriebenen Einflüssen kognitiver Leistungsaspekte, die insbesondere die Leistung bei Verwendung von 3D Anzeigen begünstigen, sowie Vorteile in Form einer erleichterten Informationsverarbeitung aufgrund von Übungseffekten. Überdies hinaus belegen die Entscheidungssicherheitsunterschiede bei der Einschätzung horizontaler Bewegungsverläufe zwischen den Fluglotsen und trainierten Laien einerseits, und den Piloten und untrainierten Laien andererseits, dass die für die Referenzanzeige optimierte Konfliktbeurteilungsstrategie nicht in gleiche Maße zur Aufgabenbewältigung mit 3D Anzeigen geeignet ist. Es resultiert also ein negativer Transfer-effekt, der durch die Zuhilfenahme von Lotdarstellungen reduziert wird.

Da das auf der Ratingskala basierende Maß zur Bestimmung der Entscheidungssicherheit bei Werten, die größer als 50% ausfallen, eine gleichermaßen zu interpretierende Beschreibung der **Urteilsleistung** liefern, gelten die Befunde der zur Entscheidungssicherheit gleichermaßen für die Urteilsleistung.

Der Einsatz von 3D Anzeigen führt damit vor allem in Fällen, in denen die vertikale Bewegungskomponente entscheidend für die Separationseinschätzung ist, zu einer Unterstützung des **Situationsbewusstseins**. Dies gilt vor allem bei der Verwendung von Lotdarstellungen. Die Referenzanzeige hingegen bietet dann einen Vorteil, wenn die laterale Bewegungskomponente die entscheidende Rolle spielt. Bei Konfliktfällen hingegen resultiert die Verwendung einer 3D Anzeige in einem vergleichbaren Situationsbewusstsein wie die Referenzanzeige.

Oben dargelegte Unterschiede zwischen 2D und 3D Anzeigen werden durch eine geringe **Separationsdistanz** weiter verstärkt. Somit unterstützt 3D relative Positionsvergleiche vor allem bei einer entsprechenden räumlichen Nähe, in der Ambiguitäten und Verzerrungen eine geringere Rolle spielen als bei großen Distanzen. Bei größeren räumlichen Distanzen wirken sich die optischen Verzerrungen stärker aus, weshalb hier ein Vorteil für die Referenzanzeige resultiert.

Für das Ausbleiben weiterer Vorteile von 3D durch eine aktive **Azimetrotation** dürften die durch die Rotation zusätzlich erforderlichen zeitlichen und mentalen Ressourcen verantwortlich sein, die für eine zeitgleiche Wahrnehmung und Verarbeitung der Positionsinformationen erforderlich sind.

5.4 Zusammenfassende Beantwortung der Fragestellungen

a) Üben die für den Anflugkontrollbereich relevanten Aufgabenmerkmale unterschiedliche Effekte auf die Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen mit den untersuchten Anzeigen aus?

Bei der Untersuchung von Unterschieden zwischen 2D und 3D Anzeigen ist zu berücksichtigen, dass nicht alleine Anzeigeunterschiede, sondern auch die Aufgabenmerkmale Konvergenz- und Ansichtswinkel sowie Vertikalbewegung und Dimension folgende Einflüsse auf die Ergebnisse ausüben: Zur erfolgreichen Bearbeitung von Aufgaben, in denen eine exakte Einschätzung der horizontalen Bewegungsverläufe vorausgesetzt wird, wie dies z.B. bei horizontalen Separationsfällen auf gleicher Objekthöhe der Fall ist, resultiert die Wahl einer Draufsicht gegenüber einer Vogelperspektive in einem Beobachtungszeitvorteil. Dieser tritt v.a. bei relativ großen Objektdistanzen auf, wie dies z.B. bei sich frontal annähernden Objekten der Fall ist. Auch diagonal zur Sichtlinie des Betrachters verlaufende Objektbewegungen führen zu einem solchen Effekt. Bei parallelen bzw. orthogonalen Bewegungsverläufen hingegen zeigt die Wahl einer Vogelperspektive entsprechende Vorteile. Im Hinblick auf die Entscheidungssicherheit und Urteilsleistung wurden in der vorliegenden Arbeit keine aufgabenmerkmalsabhängigen Unterschiede nachgewiesen. Oben genannte Beobachtungszeitunterschiede fallen im Vergleich zu den aufgabenmerkmalsunabhängigen Unterschieden zwischen den Anzeigen und Probandengruppen relativ gering aus. Größere und von der verwendeten Anzeige unabhängige Effekte resultieren aus Konvergenzwinkelvariationen. Rechtwinklige Konvergenzwinkel führen sowohl zu einer geringeren Entscheidungssicherheit, als auch zu einem höherer zeitlichen Ressourcenaufwand zur Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen verglichen mit stumpfwinkligeren 180° bzw. spitzwinkligeren 0° Fällen. Darüber hinaus erfordern ungleichsinnige Vertikalbewegungen eine erheblich höhere Beobachtungsdauer und führen zu größerer Unsicherheit als gleichsinnige Bewegungsverläufe. Vertikale Separationsfälle lassen sich generell mit größerer Sicherheit einschätzen als horizontale Separations- oder Konfliktfälle, und erfordern ein geringeres Maß an zeitlichen Ressourcen. Daneben führen aus der Draufsicht diagonal zur Sichtlinie des Betrachters verlaufende Bewegungen stets zu einer höheren Urteilsleistung und Entscheidungssicherheit als parallele bzw. orthogonale Objektbewegungen.

b) Unterscheiden sich die aufgrund von Situationsmerkmalen in Form verschiedener auditiver Beanspruchungssituationen resultierenden Effekte zwischen den untersuchten Anzeigen?

3D Anzeigen mit Lotdarstellung führen generell zu geringeren zeitlichen Ressourceneinbußen bei der Einschätzung vertikaler Separationsfälle bei der Hinzunahme einer auditiven Zusatzbeanspruchung als die Vergleichsanzeigen. Die erforderliche Beobachtungsdauer zur Einschätzung von Konflikt- und horizontalen Separationsfällen hingegen nimmt bei allen Anzeigen ähnlich stark zu, und führt nicht zum Auftreten anzeigespezifischer Stärken oder Schwächen. Das Selbe gilt auch für die Entscheidungssicherheit und Urteilsleistung. Der von den Anzeigen unabhängige Effekt der auditiven Zusatzbeanspruchung fällt erheblich größer aus als der oben genannte zeitliche Ressourcenvorteil durch 3D mit Lotdarstellung, und betrifft sowohl den zeitlichen Ressourcenaufwand als auch die Urteilsleistung und Entscheidungssicherheit. Außerdem weisen Fluglotsen und trainierten Laien mit allen Anzeigen geringere Einbußen auf als Piloten und untrainierte Laien. Generell führt die Beanspruchungserhöhung zu einer Verstärkung bereits vorliegender Effekte.

c) Welche Effekte üben die spezifischen Merkmale der untersuchten Anzeigen auf die Einschätzung von Luftfahrzeugseparationen aus?

Das höchste Leistungspotential von 3D Anzeigen wird in Verbindung mit Lotdarstellungen ausgeschöpft. Dadurch lassen sich vor allem Effektivitäts- und Effizienzvorteile gegenüber den Vergleichskonzepten realisieren, wie auch Verbesserungen der Entscheidungssicherheit erzielen. Während die Effektivitäts- und Effizienzvorteile hauptsächlich von Fluglotsen erzielt werden und unabhängig von den Aufgabenmerkmalen auftreten, beziehen sich Letztere auf die Einschätzung vertikaler Bewegungsverläufe, die zusätzlich bei kritischen Situationen verstärkt werden, in denen sich die Objekte sehr nahe kommen. Das Vorliegen erschwerter situativer Bedingungen aufgrund einer auditiven Zusatzbeanspruchung führt zu einer weiteren Verstärkung der Effektivitäts- und Effizienzvorteile von 3D. Insbesondere die Leistungen von Fluglotsen und Piloten profitieren durch den Einsatz stereoskopischer 3D Anzeigen mit Lotdarstellungen. Diese Vorteile sind zudem unabhängig vom gewählten Höhenwinkel, so dass keine nennenswerten Leistungsdifferenzen zwischen der Vogelperspektive und der Draufsicht bestehen.

Den dargestellten Vorteilen von 3D steht deren generelle Schwäche im Hinblick auf die Urteilsleistung bzw. Entscheidungssicherheit in Verbindung mit horizontalen Separationsfällen entgegen. Während bei Konfliktfällen keine nennenswerten Unterschiede zwischen 2D und 3D auftreten, führt der Einsatz der Referenzanzeige zu Vorteilen bei Vorliegen horizontaler Separationsfälle. Die Verwendung von Lotdarstellungen führt dabei zu einer deutlichen Abschwächung dieses Nachteils von 3D, der dadurch jedoch nicht vollständig kompensiert wird, und sich bei Vorliegen einer auditiven Zusatzbeanspruchung weiter verstärkt.

Mit Bezug auf das Antwortverhalten der Probanden zeigen sich hauptsächlich im Falle von Fluglotsen Unterschiede zwischen den Anzeigen. Bei Verwendung einer 3D Anzeige neigen sie zu einem liberaleren Antwortverhalten, schließen mit 2D also tendenziell eher auf einen Konflikt- als einen Separationsfall als bei Verwendung einer 3D Anzeigen. Dadurch wird die Chance auf die Erkennung eines Konfliktfalles zu Ungunsten der Falschalarmrate erhöht. Analysen der Entscheidungssicherheit durch Betrachtung der Verwendungshäufigkeiten von Antwortkategorien zeigen, dass diese Antworttendenz der Fluglotsen daher rührt, dass sie bei Verwendung der Referenzanzeige mehr sichere Urteile abgeben als mit 3D, was auf Übungseffekt zurückzuführen ist, ein größeres Maß an subjektiver Sicherheit mit 2D widerspiegelt, und die oben genannte Antworttendenz begründet. Das Ausbleiben nennenswerter und antworttendenzunabhängiger Diskriminationsleistungsunterschiede zwischen den Anzeigen belegt jedoch, dass die Entscheidungssicherheitsvorteile der Fluglotsen in Verbindung mit 2D hauptsächlich deren subjektive Sicherheit widerspiegeln, und sie mit 3D dann ein objektiv vergleichbares Leistungsniveau erzielen, wenn diese über zusätzliche Lotdarstellungen verfügen.

d) Welche Rolle spielen die individuellen Merkmale Expertise, Strategiewissen, Einstellung, Persönlichkeit und kognitive Leistung im Rahmen des Anzeigevergleiches?

Die Evaluationsergebnisse weisen auf bedeutsame Einflüsse von Expertise und kognitiven Leistungsaspekten hin. Allen voran übt das Strategiewissen als eines der Hauptmerkmale von Expertise einen Einfluss auf die Leistung aus. So führt die Verfügbarkeit einer geeigneten Konfliktbeurteilungsstrategie zu generellen Vorteilen hinsichtlich der erforderlichen zeitlichen Ressourcen bei der Einschätz-

ung von Luftfahrzeugseparationen. Vor allem mit der Referenzanzeige führt das Strategiewissen zu Effektivitätsvorteilen gegenüber 3D. Sowohl Fluglotsen als auch trainierte Laien neigen bei Verwendung von 2D stärker dazu, sichere Konflikturteile abzugeben, wodurch eine höhere Konflikterkennungsrate resultiert. Dieses Antwortverhalten in Verbindung mit 2D und der Verfügbarkeit einer elaborierten Konfliktbeurteilungsstrategie führt gleichzeitig zu Effizienzverlusten durch eine höhere Anzahl fälschlicherweise als Konflikt klassifizierter Separationsfälle. Daher sind Expertiseaspekte bei der Durchführung von Anzeigevergleichen zu berücksichtigen, da sie einen Einfluss auf das Antwortverhalten ausüben, und in Abhängigkeit von den eingesetzten Evaluationskriterien zur Verzerrung der Ergebnisse führen können. So können Leistungsvergleiche zwischen verschiedenen Probandengruppen auf Basis antworttendenzunabhängiger Maße durchgeführt werden, wie z.B. der in dieser Arbeit verwendeten Diskriminationsleistung. Die alleinige Betrachtung von Konflikterkennungs- oder Falschalarmraten erlaubt keine zuverlässigen Rückschlüsse auf die Leistung. Des Weiteren ist der Einbezug von Unsicherheit durch die Verwendung einer Ratingskala zu empfehlen, da eine binomiale Klassifizierung in Konflikt- oder Separationsfall der Schaffung einer einheitlichen Vergleichsbasis wie die Verwendung von Isosensitivitätslinien entgegensteht. Darüber hinaus ist die Kontrolle von Lerneffekten und persönlichen Präferenzen wichtig, die besonders dann relevant sind, wenn die Probanden mit einem Teil der Konzepte über eine größere Expertise verfügen als mit den Vergleichskonzepten. Des Weiteren spielen auch kognitive Aspekte eine wichtige Rolle für die Durchführung von Vergleichsstudien zur Evaluation von Anzeigekonzepten. Allen voran zeigen sich positive Auswirkungen auf die Urteilsleistung durch eine hohe räumliche Orientierungsleistung, sowie zeitliche Ressourcenvorteile durch eine hohe selektive Aufmerksamkeitsleistung. Diese Vorteile gelten vor allem in Verbindung mit 3D Anzeigen, die über eine zusätzliche Lotdarstellung verfügen, und beschränken sich auf horizontale Separationsfälle. Aufgrund dieser Befunde sind vor allem den beiden kognitiven Leistungsaspekten räumliche Orientierungs- und selektive Aufmerksamkeitsleistung bei der Wahl der Vergleichsanzeigen und der Zusammenstellung der Aufgaben Beachtung zu schenken. Im Gegensatz zu den bedeutsamen Einflüssen durch Expertise- und kognitive Leistungsaspekte spielen die erhobenen Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmale eine untergeordnete Rolle für die Durchführung von Anzeigevergleichen.

6 Diskussion & Ausblick

6.1 Beitrag zum Forschungs- & Entwicklungsstand

Durch die Verwendung standardisierter Aufgaben und Bedingungen, die Verwendung vergleichbarer Anzeigeconzepte und unterschiedlicher Probandengruppen, sowie die systematische Variation aller relevanter Parameter, ist die Ableitung sowohl qualitativer als auch quantitativer Aussagen zu den jeweiligen Vor- und Nachteilen der untersuchten Anzeigen unter Einbezug einer Vielzahl von Aufgaben-, Situations-, Anzeige- und Personmerkmalen möglich. Dies bietet die Basis für eine datenbasierte Überprüfung des von Tavanti et al (2004) gewählten Ansatzes zur Erklärung der uneinheitlichen Befundlage von Studien, die sich der Untersuchung von Leistungsunterschieden zwischen 2D und 3D Anzeigen widmen. Die Autoren führen als Begründung eine Vielzahl von Aspekten an, hinsichtlich derer sich diese Vergleichsstudien unterscheiden, und machen diese Unterschiede für die uneinheitliche Befundlage verantwortlich. Diese Aspekte bilden die Grundlage der Analysestruktur der vorliegenden Arbeit und sind den Kategorien Aufgaben-, Anzeige-, Situations- und Personmerkmale zugeteilt. Dieser Kategorisierung folgend wird im Folgenden der Beitrag dieser Arbeit zum Forschungs- und Entwicklungsstand dargelegt.

Die durchgeführten Analysen von **Aufgabenmerkmalen** und diesbezüglicher Stärken und Schwächen der untersuchten Anzeigen untermauern den Erklärungsansatz von Tavanti et al (2004). Sie weisen darauf hin, dass, abhängig von für den Kontrollbereich relevanten Aufgaben- und Situationsmerkmalen, erhebliche Leistungsunterschiede zwischen den Anzeigen bestehen. Die vorliegende Arbeit weist nach, dass die Vorteile einer Anzeige für Flugsicherungszwecke tatsächlich in erheblichem Maße von der jeweiligen Aufgabe abhängen, und 3D, in Übereinstimmung mit den Befunden von Tavanti et al (2003), vor allem dann eine Unterstützung bietet, wenn eine Einschätzung vertikaler Bewegungsverläufe gefordert ist. Dies gilt insbesondere unter erschwerten situativen Bedingungen sowie bei geringen räumlichen Distanzen zwischen den Objekten. Gleichzeitig und in Übereinstimmung mit Brown & Slater (1997) zeigt sich, dass die Verwendung von 3D zu Nachteilen bei der Abschätzung lateraler Distanzen führt. Entgegen der breiten Befundlage, die 3D Anzeigen eine hohe Eignung für Aufgaben bescheinigt, in denen ein eher genereller und qualitativer Überblick über die Struk-

tur einer räumlichen Szenerie erforderlich ist, zeigen sich die untersuchten 3D Anzeigen nahezu gleichermaßen geeignet für die präzise Einschätzung von Distanzen und Winkeln wie 2D. Die von Wickens & Carswell (1995) vorgestellte Heuristik, 3D immer dann einzusetzen, wenn die auszuführende Aufgabe eine Integration aller drei Dimensionen erfordert, wird aufgrund der Befundlage unterstützt. Die von Smallman et al (2001) vorgeschlagene Unterscheidung zwischen Aufgaben die eine hohe Präzision erfordern und Aufgaben die einem eher qualitativen Überblick bedürfen lässt sich nicht bestätigen. Insgesamt ist festzuhalten, dass eine unterschiedliche Aufgabenbasis zu entsprechenden Vor- und Nachteilen verschiedener Anzeigen führt, und Aufgabenmerkmale daher stets zu berücksichtigen sind.

Neben den Aufgabenaspekten, zu denen im Flugsicherungskontext vor allem die Dimension, der Konvergenzwinkel und die Vertikalbewegung der Luftfahrzeuge zählen, üben auch die **Anzeigemerkmale** einen Einfluss auf die Leistung aus. Durch die Hinzunahme der dritten räumlichen Dimension sowie der gezielten Variation von Ansicht und Lotdarstellung ergeben sich bemerkenswerte Effekte. Zwar lassen sich weder die von Wickens (1995) berichteten Nachteile dreidimensionaler Anzeigen bei der Einschätzungen von Flugrichtungen in Form eines erhöhten zeitlichen Aufwandes bestätigen, noch tritt der von Ellis et al (1987) erwartete generelle Vorteil dreidimensionaler Anzeigen in Form einer verbesserten Situationswahrnehmung bei gleichzeitiger Reduktion der mentalen Beanspruchung aufgrund der integrierten grafischen Darstellung von lateraler und vertikaler Position auf. Zumindest bei letzterem greift der Erklärungsansatz von Tavanti et al (2004), der eine differenzierte Betrachtung der variierten Parameter fordert. Das unvermeidliche Auftreten von Verzerrungen von Distanzen und Winkeln bei räumlichen Tiefendarstellungen (vgl. Gillam, 1995; Sedgwick, 1986) führt offenbar zur Kompensation der von Ellis et al (1987) erwarteten Vorteile von 3D. Den Befunden der vorliegenden Arbeit folgend bieten die beiden Tiefenschlüssel Stereoskopie und Gitterlinien auf der Grundfläche keinen hinreichenden Ausgleich zu den oben genannten Verzerrungen, und zwar auch dann nicht, wenn ein von Hendrix & Barfield (1997) sowie von Barfield (1998) empfohlener Höhenwinkel von rund 30° gewählt wird. Die weitere Anreicherung der dreidimensionalen Anzeigen um Lotlinien hingegen führt zu erheblichen Verbesserungen, und gleicht die Nachteile dreidimensionaler Anzeigen nahezu vollständig aus (vgl. Wickens,

Todd & Seidler, 1989). Die Verwendung von Lotlinien ist damit bedeutsamer für die Aufgabenausführung als der gewählte Höhenwinkel. Auch die Annahmen von Wickens et al (2004) bezüglich der zu erwartenden Vorteile dreidimensionaler Anzeigen aufgrund einer interferenzärmeren parallelen Informationsverarbeitung von Positionsinformation und Sprechfunkinhalt werden durch die Befunde der Situationsmerkmalsanalyse und der im Rahmen der Anzeigemerkmalsanalyse berichteten Konfliktbeurteilungsleistungen bestätigt. Der Berücksichtigung von Situations- und Anzeigemerkmale im Rahmen von Vergleichsstudien zwischen unterschiedlichen Anzeigekonzepten kommt daher eine ähnlich große Bedeutung zu wie den Aufgabenmerkmalen.

Darüber hinaus zeigt sich im Gegensatz zu Brown & Slater (1997) eine insgesamt geringere Anzahl an Falschalarmen im Vergleich zu 2D. Verantwortlich dafür dürften **Unterschiede bei der Verwendung der Bewertungsprozeduren** sein. Lässt man die Szenarien lediglich in Konflikt- bzw. Separationsfälle einteilen resultiert ein geringerer Informationsgehalt als bei Verwendung einer mehrstufigen Ratingskala. Betrachtet man lediglich die Ergebnisse der Antwortkategorie "ganz sicher ja" bei tatsächlichem Vorliegen eines Konfliktfalles lassen sich auch in dieser Arbeit die Befunde von Brown & Slater (1997) bestätigen. Die Betrachtung aller Skalenstufen hingegen führt zu dem Schluss, dass Lotsen aufgrund ihrer konservativen Antworttendenz bei Verwendung von 3D ein insgesamt günstigeres Verhältnis zwischen Konflikterkennungs- und Falschalarmrate erzielen als mit 2D.

Die Befunde von Brown & Slater (1997), in denen Experten geringere Leistungsunterschiede zwischen verschiedenen Anzeigen aufweisen als Laien, werden durch die vorliegenden Befunde der Personmerkmalsanalyse untermauert. Des Weiteren decken sich die Ergebnisse der im Rahmen dessen durchgeführten Analyse von **Bearbeitungsstrategien** mit den von den Autoren berichteten Expertenaussagen, dass Lotsen ihre Entscheidung stets aufgrund der alphanumerisch dargebotenen Labelinhalte treffen, und die grafische Höhendarstellung aus Gewohnheit ungenutzt lassen. Ausgehend von diesem Befund ist die Schlussfolgerung von Van Orden & Broyles (2000), dass die Fluglotsenaufgabe meist auf Basis lateraler Dimensionsaspekte erledigt werde, und die Darbietung der vertikalen Luftraumausdehnung dadurch wenig nützlich sei, nicht zu unterstützen. Der Einsatz von für 2D optimierte Strategien führt offenbar dazu, dass Experten

die Vorteile von 3D weniger ausnutzen als potentiell möglich, was durch die Leistungsvorteile von Piloten mit 3D unterstützt wird, und der diesbezüglichen These von Smallman et al (2001) entspricht.

Dass auch **Unterschiede der persönlichen Leistungsfähigkeit** zu erheblichen Einschränkungen der Generalisierbarkeit führen können wird durch die ermittelten Zusammenhänge zwischen der Leistung in der Aufgabenausführung und der individuellen räumlichen Orientierungsleistung belegt. Damit sind die von Tory et al (2004) geäußerten Bedenken hinsichtlich der Generalisierbarkeit ihrer Studienergebnisse auf Basis einer vergleichsweise kleinen Stichprobe gerechtfertigt, die sich zufällig aus Personen mit ausgesprochen hohen räumlichen Fähigkeiten zusammensetzen könnte. In vergleichenden Untersuchungen von 2D und 3D, bei denen die erforderliche Zeitdauer eine abhängige Variable bildet, sind zudem die individuellen Leistungen bezüglich selektiver Aufmerksamkeit sowie verbalem und räumlichen Gedächtnis zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für Untersuchungen auf Basis kleiner und nicht zufällig ausgewählten Stichproben, da Ausreißer hierbei einen erheblich größeren Einfluss auf die Ergebnisse ausüben als bei größeren Gruppen, und daher zu einer Einschränkung der Validität führen (vgl. Bortz & Döring, 2006). Der Einsatz von Experten ist damit nur dann anzuraten, wenn aufgrund der erforderlichen Kenntnisse keine Untersuchung mit Laien möglich oder vorab klar ist, dass die untersuchten Systeme auch in Zukunft ausschließlich von diesen Experten benutzt werden. Entgegen der Befunde von Meyer et al (2009) zeigen Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmale keinen Einfluss auf die Leistung in der vorliegenden Arbeit. Ungleich bedeutsamer zeigen sich das Strategiewissen und die Übung der Versuchsteilnehmer, welche sich durch geeignete Strategietrainings und Übungsphasen kontrollieren lassen.

Die Befunde von Meijer & Van den Broek (2010) die zeigen, dass Personen mit einer weniger stark ausgeprägten visuell-räumlichen Leistungsfähigkeit mehr von **aktiver Exploration** mit dreidimensionalen Darstellungen profitieren als Personen mit stärker ausgeprägten Fähigkeiten, lassen sich auf Basis der im Rahmen des Projektes iPort durchgeführten Diplomarbeit von Petermeier (2012) nicht bestätigen. Auch ist keine fundierte Aussage über die Verwendung von Explorationsstrategien durch Probanden mit unterschiedlichen visuell-räumlichen Fähigkeiten auf Basis der vorliegenden Daten möglich. Hierzu sind explizite Daten zur Erfassung von Explorationsstrategien erforderlich, die nicht Gegenstand dieser

Untersuchungen sind. Das Selbe gilt für Aussagen zur Aufmerksamkeitsverteilung über die dargebotene Szenerie bezüglich derer Andersen & Kramer (1993) annehmen, dass weiter vom Betrachter entfernten Objekten weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird als näher dargebotenen. Da die in der vorliegenden Evaluationsstudie eingesetzten Szenarien aufgrund der ausschließlichen Verwendung zweier Objekte vergleichsweise wenig komplex sind, lassen sich etwaige Nachteile von 3D aufgrund dessen nicht ermitteln. Lediglich die Zusammenhänge zwischen der subjektiv eingeschätzten Zeitdauer zur Szenarienbeobachtung und der selektiven Aufmerksamkeitsleistung deutet auf einen entsprechenden Effekt hin. Die subjektiven Berichte der Probanden von Brown & Slater (1997) bezüglich der Nutzeneinschränkungen dreidimensionaler Anzeigen für Flugsicherungszwecke aufgrund von Effekten der Aufmerksamkeitsverteilung scheinen daher gerechtfertigt, und bilden einen interessanten und wichtigen Gegenstand für zukünftige Untersuchungen. Die von Sollenberger & Milgram (1993) berichteten positiven Rotationseffekte auf die Leistung bei der Aufgabenbearbeitung lassen sich auf Basis der vorliegenden Befundlage nicht bestätigen.

Auch der Nutzen **kombinierter zwei- und dreidimensionaler Anzeigen** lässt sich auf der vorliegenden Datenbasis nicht empirisch beurteilen. Die positiven Befunde mit der 3D Draufsicht sprechen für eine integrierte Darstellung innerhalb einer Anzeige. Ihr Vorteil ist vor allem darin zu sehen, dass der mentale Ressourcenaufwand, der zur Integration von Informationen aus mehreren Anzeigen erforderlich ist, geringer ausfallen dürfte als bei den von Tory et al (2004) erwähnten Kombinationen. Darüber hinaus sprechen Vorteile im Hinblick auf eine Erleichterung der Einschätzung lateraler Positionsverläufe dafür, die Draufsicht einer Vogelperspektive vorzuziehen. Außerdem wird die Koordination von Luftfahrzeugbewegungen anhand von Flugrichtungsangaben durch diese besser unterstützt als durch eine Vogelperspektive, was für die Flugsicherung ein wichtiges Kriterium darstellen dürfte.

Des Weiteren werden die in zahlreichen Forschungsarbeiten berichteten **Vorbehalte gegenüber neuen Systemen** durch Experten bestätigt. Auch in der vorliegenden Arbeit präferieren Fluglotsen stets die 2D Anzeige, wohingegen alle anderen Probandengruppen eine der 3D Anzeigen bevorzugen. Wong et al (2009) folgend lässt sich dies durch die notwendigen Anpassung der Arbeitsweisen von

Experten begründen, die ihnen die Aufgabenausführung zunächst erschweren, und neue Systeme als weniger geeignet erscheinen lassen.

Die Untersuchung von Effekten der Darbietungsreihenfolge der Anzeigekonzepte innerhalb der Lernkurvenanalyse bestätigt nicht die von Wickens (1995), Tavanti & Cooper (2008), sowie Cooper et al (2010) berichteten positiven **Transfereffekte** von 3D nach 2D. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bleiben diese aus, was an der großen Szenarienanzahl und der damit vergleichsweise langen Aufgabebearbeitungsdauer mit einer jeden Anzeige liegen könnte. Des Weiteren erhielten die Probanden keine Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Entscheidungen, wodurch eine wichtige Grundlage zur Erzielung von Lerneffekten fehlt.

Insgesamt zeigt die vorliegende Arbeit auf, dass die Verwendung einer geeigneten 3D Anzeige das Potential besitzt, sowohl Aufgaben zu unterstützen die eine Übersicht über eine dreidimensionale Szenerie erfordern, als auch Aufgaben die eine exakte Einschätzung von Distanzen und Winkeln erfordern. Darüber hinaus lassen sich die Effektivität wie auch die Effizienz von Separationsentscheidungen verbessern. Dass diese Vorteile vor allem unter schwierigen Aufgabenbedingungen und hoher Beanspruchung auftreten spricht für das Potential von 3D zur Erhöhung der Sicherheit und Kapazität des Flugsicherungssystems. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die Relevanz eignungsdiagnostischer Maßnahmen durch den Einsatz 3D offenbar nicht verringert wird, sondern vielmehr an Wichtigkeit zu gewinnen scheint. Zusammenhängen zwischen Personmerkmalen und individueller Leistungsfähigkeit kommt daher eine wichtige Rolle bei der Entwicklung neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen für die Flugsicherung zu. Das Selbe gilt für die kontinuierliche Überprüfung der Eignung etablierter Strategien zur Aufgabebewältigung mit neuen Systemen, sowie für Beanspruchungsverschiebungen z.B. in Form erhöhter körperlicher Anforderungen wie sie auch in Zusammenhang mit den hier untersuchten 3D Anzeigen vorzufinden sind. Diese sind bei der Planung von Arbeitszeiten und Pausen zu berücksichtigen, und deren langfristige Auswirkungen zu untersuchen.

6.2 Beurteilung der Vorgehensweise & Methodik

Wie das vorangegangene Kapitel zeigt, ermöglicht der **breit angelegte Ansatz** die Bearbeitung einer Vielzahl von Fragestellungen, die sich bislang nicht durch den Forschungs- und Entwicklungsstand beantworten lassen. Obgleich ein relativ

hoher Aufwand durch diese Vorgehensweise erwächst, verdeutlicht die Befundlage seine Vorteile. So lassen sich spezifische Stärken und Schwächen von 2D und 3D Anzeigen ermitteln, und einen empirischen Beitrag zur Beurteilung vorliegender Ansätze zur Erklärung der uneinheitlichen Befundlage leisten. Des Weiteren ist eine Potentialeinschätzung von 3D Anzeigen für Sicherheits- und Kapazitätssteigerungen des Flugsicherungssystems durch Maßnahmen zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, sowie die Diskussion von Trainings- und Personalselektionsaspekten bei Einsatz neuer Anzeigen möglich. Der dazu erforderliche Methodenmix ist Gegenstand der nachfolgenden Diskussion.

Die **Bildung von Probandengruppen** erweist sich als vergleichsweise einfaches Verfahren zur Erhebung der Einflüsse von Expertise und individueller Leistungsfähigkeit. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch, dass die Gruppenbildung einer theoretischen Fundierung bedarf, um eine gezielte Beantwortung spezifischer Fragestellungen zu ermöglichen. Des Weiteren müssen Probanden in dem erforderlichen Umfang verfügbar sein, da sich auch bei einer insgesamt relativ großen Probandenanzahl durch deren Einteilung in Gruppen kleine Substichprobengrößen ergeben, was die separate Analyse einzelner Gruppenaspekte einschränkt. Auch hat sich gezeigt, dass sich eine zu den Experten hinsichtlich der Expertise vergleichbare Gruppe durch die Entwicklung und Umsetzung geeigneter Trainingsmaßnahmen schaffen lässt. Die Entwicklung eines solchen Trainings kann sich sowohl relativ einfach als auch enorm aufwändig gestalten. Dies hängt zum einen von der Komplexität der gestellten Aufgaben, und zum anderen vom Kenntnisstand bezüglich entsprechender Strategien der Experten ab. Für Flugsicherungsaufgaben im Allgemeinen und Konfliktbeurteilungsaufgaben im Speziellen findet sich dank zahlreicher Forschungsarbeiten eine breite Wissensbasis. Dadurch lassen sich Verfügbarkeitsprobleme von Experten lösen und, wie in der vorliegenden Arbeit Vergleichsgruppen zur Bearbeitung spezifischer Fragestellungen schaffen. Durch die Bildung unterschiedlicher Probandengruppen alleine ist es allerdings nicht möglich Rückschlüsse auf Aspekte wie Persönlichkeitseigenschaften oder kognitive Leistungsmaße zu ziehen. Hierzu sind bestehende psychologische Verfahren einzusetzen. Deren Vorteile liegen vor allem in ihrer Validität und der Möglichkeit für andere Forscher ähnliche Untersuchungen durchzuführen, und somit deren Ergebnisse mit denen dieser Arbeit zu vergleichen. Zudem erfüllen etablierte Verfahren die für eine valide Untersuchung erforderlichen Testgüte-

kriterien und sind theoretisch begründet, so dass deren Verwendung ohne detaillierte Erläuterungen ihrer Fundierungen möglich ist. Die in dieser Arbeit verwendeten Verfahren waren zum Untersuchungszeitpunkt frei verfügbar.

Die Leistungserhebung gestaltet sich ungleich aufwändiger als die der Einflüsse von Expertise und individueller Leistungsfähigkeit. Sie erfordert die Entwicklung geeigneter **Verfahren zur Leistungsmessung**, die sowohl abgestimmt sind auf das Testsetting, als auch der Bearbeitung aller Aspekte der Problemstellung dienen. Die Verwendung von Ratingskalen zur Einschätzung des Szenarienausganges und Beurteilung der Darbietungsdauer erweist sich als zielführend für die vorliegende Arbeit. Mit deren Hilfe ist sowohl die Bestimmung der Antworttendenz und Entscheidungssicherheit als auch die Ermittlung der Diskriminationsleistung möglich. Darüber hinaus erlauben sie die Berechnung der Konflikterkennungsrate, die Angabe der Effizienz bei einem festgelegten Effektivitätsniveau, sowie die Ableitung von Rückschlüssen über das resultierende Maß an Situationsbewusstsein. Außerdem erlaubt die Ratingskala zur Erfassung der subjektiv erlebten Beobachtungsdauer die Beurteilung zeitlicher Ressourcenaufwände. Durch die standardisierte Erfassung sind die Gütekriterien Objektivität und Reliabilität erfüllt. Die Konstanthaltung der Szenarienspieldauer ermöglicht eine von ihr unabhängige Interpretation der Leistungsmaße, erlaubt jedoch keine Bestimmung der zur objektiv zur Entscheidungsfindung erforderlichen Zeitdauer. Hierzu ist eine durch den Probanden selbständige Wahl des Urteilszeitpunktes erforderlich. Dies führt jedoch zur Konfundierung von Beobachtungsdauer und Urteilsleistung, was die Interpretierbarkeit beider verkompliziert, und daher hier nicht umgesetzt wurde.

Die **Konzeptentwicklung** auf Basis informationsverarbeitungsbezogener Überlegungen sowie unter Einbezug des Forschungs- und Entwicklungsstandes und der Aufgaben- und Situationsbedingungen bietet zahlreiche Vorteile. Die eigens für die Untersuchung angelegte Schnittstellenentwicklung erlaubt die Sicherstellung der Vergleichbarkeit zwischen den Anzeigekonzepten, indem für jeden interessierenden Anzeigeaspekt eine separate Variante mit ansonsten identischen Merkmalen geschaffen wird. In Verbindung mit oben dargelegten Person- und Leistungsmaßen ergibt sich eine Datengrundlage, mit deren Hilfe sich eine große Bandbreite an Fragestellungen bearbeiten lässt. Auch hierbei bilden theoretische Überlegungen den Ausgangspunkt der erforderlichen Maßnahmen und Ergebnisinterpretationen.

Die **Entwicklung repräsentativer Aufgaben** bedarf sowohl der Kenntnis der relevanten Anforderungen als auch der Aufgabenaspekte die diese beeinflussen. Für die Flugsicherung können sie dem Forschungs- und Entwicklungsstand entnommen werden und müssen nicht, wie in vielen anderen Bereichen, durch Expertenbefragungen, Feldbeobachtungen und analytische Ansätze ermittelt werden. Im Gegensatz zum Rückgriff auf bestehende Szenarien, die z.B. aus Aufzeichnungen tatsächlicher Flugverkehrsszenarien gewonnen werden können, bietet die eigenständige Aufgabenentwicklung die Gelegenheit einer gezielten Variation ausschließlich der Parameter, die von Interesse für die Untersuchung sind. Dies erfordert jedoch eine Absicherung der Repräsentativität der dadurch entstehenden Varianten, die sowohl analytisch als auch empirisch erfolgen kann.

Wie die Befunde zeigen, spielt die **Herstellung repräsentativer Situationen** eine nicht minder bedeutsame Rolle bei der Evaluation von Mensch-Maschine-Schnittstellen für Fluglotsenarbeitsplätze als die eingesetzten Anzeigen und Aufgaben. Auch hierzu ist die Kenntnis realer Anforderungen notwendig, um eine entsprechende Umsetzung realisieren zu können. Die von Petermeier (2012) auf analytischer Basis entwickelte Zusatzaufgabe stellt sich Expertenkommentaren zufolge als geeignet für die Schaffung realistischer Beanspruchungsbedingungen heraus. Sie erlaubt außerdem eine gezielte experimentelle Bedingungskontrolle. Die Ergebnisse zeigen, dass der Vergleich verschiedener Anzeigevarianten von der Beanspruchungsmanipulation profitiert. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Ziel in der Unterstützung von Operateuren bei der Aufgabenbewältigung unter schwierigen Bedingungen besteht.

Bei allen Variationsmaßnahmen ist die **Belastung der Probanden** durch die resultierende Testdauer zu berücksichtigen, und auf die Sinnhaftigkeit der sich ergebenden Varianten zu achten. Aufgrund der umfassenden Betrachtungen innerhalb dieser Arbeit bildete vor allem die Begrenzung der Testdauer eine hohe Herausforderung. Im Sinne der Reliabilität hingegen gilt eine lange Testdauer als vorteilhaft, und unterstützt in vorliegendem Fall die Abbildung einer für den Flugsicherungskontext typischen Dauerbeanspruchung. Auf dieser Basis sind realistischere Beanspruchungseinschätzungen möglich als bei vergleichsweise kurzen Testphasen, die bezogen auf die zeitliche Beanspruchung weniger repräsentativ sind, und diesbezüglich valide Einschätzungen erschweren.

6.3 Ergebnisbewertung bezüglich Zielsetzung & Problemstellung

Bezieht man die Evaluationsergebnisse auf die Ausgangslage und die sich daraus ergebende Problemstellung lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle als wirksamer Ansatz zur weiteren Erhöhung der Sicherheit und Kapazität des Flugsicherungssystems gelten kann. Die vorliegende Arbeit verdeutlicht, dass durch die Kenntnis der spezifischen Stärken und Schwächen verschiedener Anzeigemerkmale eine gezielte Auslegung zur Leistungsoptimierung und Unterstützung der Fluglotsen nutzen lässt. Eine optimal gestaltete 3D Anzeige bietet aufgrund der verbesserten Einschätzbarkeit vertikaler Bewegungsverläufe vor allem für den Flughafennahbereich ein hohes Unterstützungspotential. Diese Schlussfolgerung wird durch die Befunde von Loft et al (2009) gestützt, die darauf hinweisen, dass Experten heute bereits vertikale Separationsabstände von 4.000 ft zum Anlass nehmen präventiv einzugreifen, obgleich dies einem Vielfachen des vorgeschriebenen Separationsminimums entspricht. Relativ zum vorgeschriebenen Separationsminimum führen horizontale Distanzen hingegen erst bei viel kleineren Unterschieden zu einem Eingriff. Die Effektivitäts- und Effizienzvorteile durch 3D versprechen eine Entlastung der mentalen Ressourcen, und eine Unterstützung beim Aufbau und Aufrechterhalt des erforderlichen Situationsbewusstseins, so dass in der Konsequenz ein Zugewinn an Sicherheit und ein Potential für Kapazitätssteigerungen zu erwarten ist. Durch den Einbezug des Operateurs in das Situationsgeschehen bietet die Verbesserung der Anzeige einen erheblichen Vorteil gegenüber automatisierter Unterstützungssysteme, so dass Flugunfälle wie der eingangs berichtete noch unwahrscheinlicher werden als bisher. Darüber hinaus geben die Befunde begründeten Anlass zur Annahme, dass die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle einen Beitrag zur Bewältigung des für die Zukunft prognostizierten Luftverkehrsaufkommens leisten, und zur Reduktion der Kosten aufgrund von flugsicherungsseitig erzeugten Verspätungen beitragen kann. Allerdings finden sich auch die Annahmen vieler Forscher bestätigt, dass im Rahmen neuer Entwicklungen von einem kognitiven Beanspruchungszuwachs auszugehen ist, und nicht minder aufwändige Verfahren zur Selektion von Personal, dessen Training, sowie dem Aufrechterhalt der benötigten Fertigkeiten erforderlich wird. Durch die Beantwortung der eingangs formulierten Fragestellungen leistet diese Arbeit einen weiteren Beitrag zur Einschätzung des Potentials dreidimensionaler Anzeigen für

Flugsicherungszwecke, der durch die Betrachtung und gezielte Kontrolle von Anzeige-, Aufgaben-, Situations- und Personmerkmalen innerhalb einer wissenschaftlichen Arbeit nicht nur die Beschreibung spezifischer Stärken und Schwächen von 3D Anzeigen unterstützt, sondern auch zur Beurteilung vorliegender Erklärungsansätze zur bislang uneinheitlichen Befundlage beiträgt. Die Ableitung von Implikationen durch den Einsatz stereoskopischer Anzeigen für das Training und die Auswahl geeigneter Kandidaten zur Fluglotsenausbildung vervollständigen die Schlussfolgerungen.

6.4 Weitere Forschungsbedarfe & allgemeine Hinweise

Aufgrund der ausschließlichen Darbietung zweier Luftfahrzeuge lässt sich eine optimale experimentelle Kontrolle erzielen, auf deren Basis die Ermittlung von Trajektorienextrapolationsleistungen und diesbezüglichen Effekten in Verbindung mit einer großen Bandbreite weiterer Variablen möglich wird. Auch wird deutlich, dass die Verwendung einer geeigneten 3D Anzeige die Operateure in die Lage versetzt, eine zu 2D vergleichbare Leistung hinsichtlich einer präzisen Einschätzung von Bewegungsverläufen zu erzielen. Die weitläufig verbreitete Schlussfolgerung, 3D eigne sich vor allem zur Erlangung eines qualitativen Eindrucks einer komplexen dreidimensionalen Szenerie, lässt sich hingegen nicht auf Basis zweier Objekte bestimmen. Hierzu sind aufwändigere Luftraumszenarien erforderlich. Ausgehend von dem aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand sind hierbei weitere Vorteile durch 3D zu erwarten. Effekte durch Lot- und Referenzgitterdarstellungen sowie weitere Anzeigeeinhalte wie z.B. Luftverkehrswege, Funkfeuer und Sperrzonen sind entsprechend zu berücksichtigen. Ausgehend von den Befunden dieser Arbeit lässt z.B. die Darbietung einer regelmäßigen Punktstruktur zur Kennzeichnung der Grundfläche anstatt eines Referenzgitters eine erleichterte Informationsverarbeitung erwarten, da die Gitterlinien möglicherweise zu stärkeren Interferenzen mit weiteren Anzeigestrukturen führen. Die räumliche Darbietung zusätzlicher Anzeigeeinhalte verspricht eine Unterstützung der Raumorientierung sowie weitere Vorteile von 3D. Obgleich solch komplexe Szenarien eine erhebliche Verkomplizierung des Untersuchungssettings bedeuten, stellt ihre Erforschung eine Notwendigkeit zur Nutzenermittlung dreidimensionaler Anzeigen für die Flugsicherung und die Erlangung praxisbedeutsamer Erfahrungen dar. Außerdem sind für einen operationellen Einsatz von 3D weitere

Aspekte zu beachten, die mit der Referenzanzeige leicht zu bewältigen sind, in Verbindung mit 3D jedoch zu Schwierigkeiten führen können. Dabei handelt es sich um die Gabe von Richtungsanweisungen, die aufgrund von Ambiguitäten entlang der Sichtlinie bei vogelperspektivischen Ansichten erschwert werden können, sowie um Verdeckungsprobleme bei einer hohen Luftverkehrsdichte. Diese lassen sich theoretisch zwar durch die Möglichkeit einer aktiven Azimutrotation reduzieren, die wiederum jedoch die Gabe von Richtungsanweisungen zusätzlich erschweren dürfte, und gemäß den Evaluationsergebnissen zu Leistungseinbußen aufgrund erhöhter Anforderungen an den Operateur führt. Die Entwicklung neuartiger Verfahren zur Koordination des Luftverkehrs bietet möglicherweise einen Lösungsansatz und könnte den Nutzen von 3D erhöhen, wie dies Expertenaussagen zufolge z.B. durch das sog. *Point-Merge* Anflugverfahren zu erwarten ist. Bei diesem orientieren sich die Luftfahrzeugführer an vorgegebenen Routenpunkten, die sie mit einer festgelegten Geschwindigkeit ansteuern. Die Fluglotsen müssen dabei lediglich einen Einflugpunkt zuweisen und den richtigen Zeitpunkt bestimmen, an dem Sie die Piloten zu einem weiteren bereits definierten Punkt koordinieren. Im Optimalfall ermöglicht dies die Durchführung eines sog. *Continuous-Descent-Approach*. Hierbei handelt es sich um ein Sinkflugverfahren, bei dem die Triebwerke in den Leerlauf geschaltet werden können, und so nicht nur eine energieeffizientere, sondern auch für die Passagiere und Anwohner geräuschärmere Luftverkehrsabwicklung ermöglicht. Es zeigt sich also nach wie vor ein erheblicher Forschungsbedarf der empirische Untersuchungen unter Einbezug komplexer Bedingungen erfordert.

Diese Arbeit verdeutlicht, dass der Fokus dabei nicht ausschließlich auf die Eignung unterschiedlicher Anzeigen und deren Gestaltung zu legen ist, sondern auch spezifische Aufgabenmerkmale zu berücksichtigen sind. Modelle zur Beschreibung der menschlichen Informationsverarbeitung bilden hierzu eine geeignete Grundlage, und ermöglichen nicht nur eine benutzerzentrierte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, sondern eignen sich auch zur Identifikation relevanter Aufgabenmerkmale zur Erzeugung repräsentativer Beanspruchungssituationen sowie zur Bestimmung bedeutsamer kognitiver Leistungsaspekte. Bezüglich der Aufgaben scheint insbesondere die Untersuchung von Effekten interessant, die durch speziell für 3D Anzeigen entwickelte Assistenzsysteme auftreten. So sind Darstellungen sog. 4D Trajektorien denkbar, mittels derer sich die dreidim-

ensionalen Flugpfade mitsamt der zeitlichen Komponente darbieten lassen, und eine gravierende Veränderung von Informationsverarbeitung, Entscheidungsstrategie und Handlungsstruktur bedeuten. Eine über die reine Anzeige hinausgehende Verknüpfung solcher Systeme durch die Verwendung einer datenbasierten statt der heutzutage funkbasierten Kommunikation zwischen Fluglotse und Piloten ergibt vielfältige Einsatzszenarien, bei denen 3D einen größeren Gestaltungsspielraum bieten als 2D. Gleichzeitig ergeben sich neue Einschränkungen. So stellt der Einsatz von 3D die Operateure dann vor Schwierigkeiten, wenn ein zweiter Lotse zur Unterstützung herangezogen werden soll. Aufgrund der heute verfügbaren Technologie zur Erzeugung stereoskopischer 3D Darstellungen erhält dieser durch räumliche Differenzen der Augpunkte beider Operateure ein anderes optisches Bild. Darüber hinaus beeinflussen weitere Aspekte die Aufgabenbearbeitung, wie z.B. die Kontinuität von Objektbewegungen. Bei den hier verwendeten Szenarien wurden ausschließlich kontinuierliche Luftfahrzeugbewegungen realisiert. Es ist jedoch zu erwarten, dass die Vorteile dreidimensionaler Darstellungen bei einer geringeren zeitlichen Auflösung kleiner ausfallen. Eine hohe Abtastrate der Radarsysteme wird daher als Voraussetzung für den Einsatz dreidimensionaler Anzeigen erachtet. Ein weiteres Forschungsfeld bilden Aufgaben, die eine gemeinsame Bearbeitung und daher auch ein gemeinsames Situationsbewusstsein erfordern. Dies konfrontiert Vorhaben zur Entwicklung neuartiger Mensch-Maschine-Schnittstellen vor allem dann mit einer Vielzahl offener Fragen, wenn unterschiedliche Anzeigesysteme zum Einsatz kommen, und dadurch ein gemeinsames Referenzsystem fehlt, auf das im Falle erforderlicher Abstimmungen Bezug genommen werden kann.

Über den Einsatz repräsentativer Aufgaben hinaus ist auf eine gezielte Herstellung repräsentativer Situationen zu achten, da sie einen wichtigen Beitrag zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen leistet. Die Erzeugung realistischer Belastungsstrukturen dient der Absicherung der Validität erzielter Befunde, sowie der Ableitung von für den operationellen Einsatz geeigneten Gestaltungsempfehlungen.

Nicht weniger bedeutend ist der umfassende Einbezug von Personeigenschaften. Insbesondere ist dabei die individuelle Expertise und kognitive Leistungsaspekte von Bedeutung, da sie sich auf Trainings- und Transfereffekte auswirken, und zur Schaffung vergleichbarer Ausgangssituationen beachtet werden müssen.

Eine der spannendsten Fragen, die nicht durch diese Arbeit geklärt werden kann, zielt auf die Ermittlung von Übungseffekten bei Fluglotsen unter Verwendung von 3D ab. Offen ist bislang, ob die Experten die Effektivitäts- und Effizienzvorteile mit 3D, z.B. durch Anpassung ihrer Konfliktbeurteilungsstrategie, weiter verbessern können, und sich ein mit 2D vergleichbares Entscheidungssicherheitsniveau erreichen lässt. Dazu sind insbesondere die Durchführung von Trainingssitzungen mit entsprechenden Rückmeldungen über den Szenarienausgang erforderlich, um die zur Klärung dieser Fragestellung erforderlichen Lerneffekte zu ermöglichen.

Auch scheinen weitere Untersuchungen zur Ermittlung der relevanten kognitiven Aspekte wichtig, die zum einen als Grundlage für die Ableitung von Personalselektionserfordernissen, und zum anderen zur Anpassung und Entwicklung geeigneter Trainingsmaßnahmen dienen. Die psychologische Eignungsdiagnostik stellt zahlreiche Verfahren zur Messung kognitiver Leistungsaspekte zur Verfügung, die sich als Grundlage für Analysen zur Ermittlung von Zusammenhängen mit der Leistung bei der Aufgabenausführung anbieten.

Des weiteren sind ökonomische Fragestellungen zu berücksichtigen, da selbst nachweislich vorteilhafte Systeme aus Kostengründen nicht zum Einsatz kommen können. Um eine Grundlage für eine sinnvolle Abwägung von Kosten und Nutzen zu ermöglichen, sollten angewandte Forschungsstudien ökonomische Aspekte daher nach Möglichkeit entsprechend berücksichtigen. Für die Flugsicherung bedeutet dies vor allem eine Abwägung des Verhältnisses zwischen den durch eine Systemänderung entstehenden Kosten und Folgekosten, z.B. durch die Anschaffung und Implementierung neuer Systeme und Anpassungen von Personalselektions- und Trainingsmaßnahmen, und dem zu erwartenden Zugewinn an Sicherheit und Effizienz.

7 Anhang

7.1 Fragebögen & Instruktionen

Erläuterung des Versuchziels und -ablaufs

Instruktion und persönliche Angaben

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zunächst einmal vielen Dank für die Teilnahme an unserem Versuch und Ihrem Interesse an unserer Forschung!

Behandlung Ihrer Daten

Ganz zu Beginn möchten wir Ihnen mitteilen, dass alle Angaben und anfallenden Daten anonymisiert werden und dritten dadurch keine Rückschlüsse auf Ihre Person möglich sind. Des Weiteren sind alle Personen, die Sie durch den Versuch begleiten, Ihnen Fragen stellen, und mit Ihnen gemeinsam die Aufgaben bearbeiten zur Verschwiegenheit verpflichtet. Selbstverständlich werden Sie über Ihre individuellen Ergebnisse sowie die Gesamtergebnisse dieser Untersuchung nach der Auswertung aller Daten informiert.

Worum geht es in diesem Versuch?

Im Rahmen des Projektes iPort untersuchen wir die Eignung dreidimensionaler Visualisierungskonzepte für Arbeitsplätze zur Luftraumplanung und -kontrolle. Dazu vergleichen wir verschiedene 2D- und 3D-Anzeigen und ermitteln sowohl die Performanz mit unterschiedlichen Varianten sowie die Anforderungen, die solche Systeme an die Benutzer stellen.

Versuchsablauf

Auf den folgenden Seiten werden Ihnen zunächst einige Fragen zu Ihrer Person, Ihren Erfahrungen, soweit für den Versuch relevant, sowie Ihren Einstellungen gestellt. Danach folgt ein Test zur räumlichen Orientierungsfähigkeit und zur Wahrnehmungs- und Gedächtnisleistung. Anschließend folgen die Versuche mit den unterschiedlichen Anzeigesystemen. Zu jedem Versuchsabschnitt erhalten Sie eine ausführliche Instruktion und Sie haben jederzeit die Gelegenheit, den Versuchsleiter anzusprechen.

Erhebung demografischer Daten

Instruktion und persönliche Angaben

Kommen wir zum ersten Fragebogen. Mit diesem möchten wir gerne Ihre demografischen Daten sowie Ihre Erfahrung mit Computern, Videospielen und Virtual-Reality-Anwendungen ermitteln. Dabei gibt es **keine "richtigen" oder "falschen"** Antworten. Wir bitten Sie, stets **alle** Fragen zu beantworten. Wählen Sie immer die am ehesten zutreffende Antwortmöglichkeit und machen Sie bitte nur **ein** Kreuz pro Aussage. Bitte benutzen Sie stets die dafür vorgesehenen Felder. Sollten mehrere Antworten möglich sein, so ist dies entsprechend gekennzeichnet. Bei Unklarheiten oder Fragen wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter, der Ihnen während der gesamten Versuchsdauer zur Verfügung steht.

Angaben zu Ihrer Person:

Alter: _____ Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Händigkeit: ☐ linkshändig ☐ rechtshändig

Bitte tragen Sie die beiden letzten Buchstaben der Vornamen Ihrer Mutter und Ihres Vaters sowie Ihres Geburtsortes ein: _____

Beispiel: Ihre Mutter heißt Maria, Ihr Vater Jürgen, Ihr Geburtsort ist Ingolstadt: IAENDT

Letzte/s Ausbildung/Studium: _____

Derzeitig ausgeübter Beruf (bei Fluglotsen bitte auch den Zuständigkeitsbereich angeben): _____

Erfahrung in Jahren in diesem Beruf: _____

1. Wie oft haben Sie in den letzten 12 Monaten an Experimenten teilgenommen?

gar nicht	1-2mal	3-4mal	mehr als 4mal	weiß nicht
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Falls nicht oder Sie es nicht wissen, bitte weiter mit Frage 4

Instruktion und persönliche Angaben				
2.	Haben Sie in dieser Zeit an einem Virtual-Reality-Experiment teilgenommen?	nein	ja	weiß nicht
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Falls nicht oder Sie es nicht wissen, bitte weiter mit Frage 4				
3.	Wenn ja, wie oft?	1-2mal	3-4mal	mehr als 4mal
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Bitte schätzen Sie Ihre momentane Müdigkeit ein. Ich fühle mich...			
	sehr wach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Wie routiniert sind Sie im Umgang mit der PC-Maus?	gar nicht	kaum	mittelmäßig
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Liegt bei Ihnen eine Sehschwäche vor?	nein		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn nein, bitte weiter mit Frage 10				
7.	Welche Art von Sehschwäche tritt zu?			
	• Kurzsichtigkeit (Myopie)	<input type="checkbox"/>		
	• Weitsichtigkeit (Hyperopie)	<input type="checkbox"/>		
	• Schielen (Strabismus)	<input type="checkbox"/>		
	• Ungleichsichtigkeit (Anisometrie)	<input type="checkbox"/>		
	• Farbfahrsichtigkeit	<input type="checkbox"/>		
	• Astigmatismus	<input type="checkbox"/>		
Sonstige Sehstörung:				

Instruktion und persönliche Angaben						
8.	Verwenden Sie eine Sehhilfe?	nein	ja			
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Wenn nein, bitte weiter mit Frage 10						
9.	Falls ja, verwenden Sie diese heute?	nein	ja			
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
10.	Wie lange nutzen Sie schon regelmäßig einen Computer?	0-2 Jahre	2-4 Jahre	4-6 Jahre	6-8 Jahre	> 8 Jahre
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie viele Stunden durchschnittlich pro Woche nutzen Sie ...						
11.	... einen Computer bei der Arbeit ?	0-5h	5-10h	10-15h	15-20h	>20h
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	... einen Computer in der Freizeit ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie viele Stunden pro Woche nutzen Sie ...						
	nie	< 1mal pro Monat	1-2mal pro Monat	1-2mal pro Woche	täglich	
13.	Spielen Sie Computerspiele?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn nein, bitte weiter mit Frage 16						

Instruktion und persönliche Angaben

17. Falls ja, beschreiben Sie bitte näher, um welche Erfahrungen es sich dabei handelt

	0-1 Jahr	1-2 Jahre	2-3 Jahre	3-4 Jahre	> 4 Jahre
18. Wie lange beschäftigen Sie sich schon mit Virtual-Reality?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. Wie viel Zeit verbrachten Sie innerhalb des letzten Jahres mit Virtual-Reality-Anwendungen durchschnittlich pro Woche?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Instruktion und persönliche Angaben

14. Falls ja, welche?

- Fahr- oder Flugsimulatoren
- Geschicklichkeitsspiele
- Karten- oder Brettspiele
- Strategiespiele
- Rollenspiele
- Kampfspiele

☐

☐

☐

☐

☐

☐

Sonstige Spiele:.....

	0-5h	5-10h	10-15h	15-20h	>20h
15. Wie viel Zeit verbrachten Sie innerhalb des letzten Jahres mit o.g. Spielen durchschnittlich pro Woche?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Virtual-Reality-Anwendungen bieten die Möglichkeit, die Wirklichkeit mehr oder weniger realistisch zu modellieren und teilweise auch mit ihr zu interagieren.

16. Haben Sie bereits Erfahrungen mit Virtual-Reality gesammelt?

☐

☐

nein

ja

Wenn nein, bitte weiter mit Frage 20

Erhebung der individuellen Technikorientierung

Instruktion und persönliche Angaben					
<p>Nachfolgend finden Sie eine Reihe von Aussagen, bei denen Sie angeben sollen, wie stark diese Ihrer Meinung nach auf Sie zutreffen. Denken Sie bitte nicht lange nach, sondern geben die Einschätzung ab, die Ihnen spontan in den Sinn kommt. Denken Sie daran, dass es keine "richtigen" oder "falschen" Antworten gibt - nur Ihre persönliche Meinung zählt.</p>					
Wie stark stimmen Sie folgenden Aussagen zu?	gar nicht	kaum	mittel	ziemlich	außerordentlich
20. Es fällt mir leicht, Neues über Computer zu lernen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Das Thema Computer übersteigt mein Verständnis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Ich weiß, wie man einen Computer einrichtet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Ich fühle mich wohl, wenn ich mit Computern zu tun habe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Ich finde es angenehm, wenn es in einem Gespräch um Computer geht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Heutzutage wissen Kinder einfach mehr über Computer als ich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Im Umgang mit Computern habe ich viel Selbstvertrauen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Mir macht es Spaß, mit dem Computer zu arbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Instruktion zur Szenarienbearbeitung

Instruktion und persönliche Angaben					
<p>Nun folgt die Bearbeitung typischer Flugsicherungszenarien. Es handelt sich dabei stets um Situationen, in denen sich zwei Flugobjekte zueinander annähern. Ihre Aufgabe dabei ist es, diese Situationen genau zu beobachten und einzuschätzen, ob die sich die beiden Objekte treffen oder sich aneinander vorbei bewegen werden, also ob ein Konflikt auftreten wird oder nicht. Für das Vorliegen keines Konfliktes ist es unerheblich, wie dicht sich die beiden Objekte aneinander vorbei bewegen. Wenn sich die beiden Objekte nicht genau treffen werden, liegt kein Konflikt vor. Die beiden Objekte bewegen sich stets linear, können also nicht plötzlich ihre Richtung, Geschwindigkeit oder Höhe(-änderung) verändern.</p> <p>Jedes Szenario wird Ihnen für eine Dauer von genau 10 Sekunden dargestellt, bevor es ausgeblendet wird und Sie Ihre Einschätzung abgeben sollen. Dazu wird eine entsprechende Eingabemaske eingeblendet werden, auf der Sie mit Hilfe der Computermaus Ihr Urteil abgeben können. Darauf folgt das nächste Szenario, usw. Die Szenarien sind unterschiedlich schwierig einzuschätzen. Die Hälfte der Szenarien zeigt tatsächliche Konfliktsituationen, während die andere Hälfte konfliktfreie Fälle darstellt. Nach der Bewertung aller Szenarien werden Sie gebeten, das Anzeigekonzept zu bewerten. Daraufhin folgt die nächste Bewertungsrunde mit einem anderen Anzeigesystem, usw. Insgesamt arbeiten Sie mit vier verschiedenen Anzeigesystemen. Selbstverständlich erhalten Sie stets die Gelegenheit einige Übungsszenarien zu sehen, bevor Sie mit der eigentlichen Aufgabenbearbeitung beginnen.</p>					
Wie gut haben Sie die Instruktion verstanden?	gar nicht	kaum	mittel	ziemlich	außerordentlich
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haben Sie Fragen?					

Instruktion zur auditiven Zusatzaufgabe

Instruktion und persönliche Angaben

Nun fügen wir der Bearbeitung, wie Sie diese bereits kennen gelernt haben, eine Zusatzaufgabe hinzu.

Es handelt sich dabei um eine auditive Zusatzaufgabe. Das heißt, dass Sie die Konfliktbeurteilungsaufgabe genau wie vorher durchführen sollen. Bevor Sie jedoch mit der Betrachtung eines Szenarios beginnen, wird Ihnen der Versuchsleiter zwei zweistellige Zielzahlen nennen, also z.B. 71 und 89. Während der Zeitdauer in der Sie das Szenario betrachten, wird Ihnen eine Reihe von Ziffern vorgelesen. Immer wenn zwei aufeinander folgende Ziffern eine der beiden Zielzahlen ergeben, machen Sie bitte deutlich, dass Sie dies registriert haben indem Sie "ja" sagen. Wenn das Szenario beendet ist, geben Sie wie gewohnt Ihre Beurteilung ab, warten jedoch auf die nächsten Zielzahlen bevor Sie auf "nächstes Szenario" klicken.

	gar nicht	kaum	mittel	ziemlich	außer- ordent- lich
Wie gut haben Sie die Instruktion verstanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Haben Sie Fragen?

Erhebung der individuellen Bearbeitungsstrategie

Konzeptbeurteilung – Konzept 4

Bitte denken Sie an Ihre **Vorgehensweise bei der Beurteilung** der Szenarien und versuchen Sie diese zu beschreiben. Wir möchten dadurch herausfinden, ob Sie eine Strategie zur Aufgabenbearbeitung eingesetzt haben oder nicht.

Als Hilfestellung dazu haben wir einige Sätze formuliert, die Sie – sofern sich Ihre Vorgehensweise dadurch beschreiben lässt – in der Schrittfolge mit 1, 2, usw. so durchnummerieren sollen, dass sich der von Ihnen am häufigsten gewählte Ablauf bei der Konfliktbeurteilung erkennen lässt.

Sollten Sie mehrere unterschiedliche Strategien eingesetzt haben, können Sie mehrere Spalten zur Nummerierung verwenden und weiter unten angeben, in welchen Fällen Sie für die eine oder die andere Strategie entschieden haben.

Alternativ können Sie natürlich auch angeben, wenn Sie keiner einheitlichen Strategie gefolgt sind. Für diesen Fall oder falls die vorgegebenen Sätzen nicht zur Ihrer Vorgehensweise passen, möchten wir Sie bitten, diese mit eigenen Worten zu beschreiben.

Konzeptbeurteilung – Konzept 4

Eigentlich habe ich keine Strategie eingesetzt, sondern vielmehr jede Situation individuell beurteilt

☐

Meine Vorgehensweise lässt sich nicht durch die vorgegebenen Sätze beschreiben. Ich habe vielmehr die folgende Vorgehensweise angewandt:

☐

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Da Sie nun alle Konzepte kennen gelernt und einige Erfahrungen mit der Beurteilung von Konfliktsituationen gesammelt haben, möchten wir Ihnen zum Abschluss noch ein paar Fragen stellen.

Konzeptbeurteilung – Konzept 4

Ich habe geschaut, ob ...

	Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3	Strategie 4
... sich die Höhe eines oder beider Objektes ändert				
... sich beide Objekte auf der gleichen oder unterschiedlichen Höhe bewegen				
... sich die beiden Objekte höhenmäßig annähern				
... es einen Schnittpunkt auf der horizontalen Ebene gibt				
... der Schnittpunkt zeitgleich von beiden erreicht wird				
... es einen Schnittpunkt auf der horizontalen Ebene gibt, an dem beide Objekt auf der gleichen Flughöhe sein werden				

Strategie 1 habe dann eingesetzt, wenn

.....

Strategie 2 habe ich dann eingesetzt, wenn

.....

Strategie 3 habe ich dann eingesetzt, wenn

.....

Strategie 4 habe ich dann eingesetzt, wenn

.....

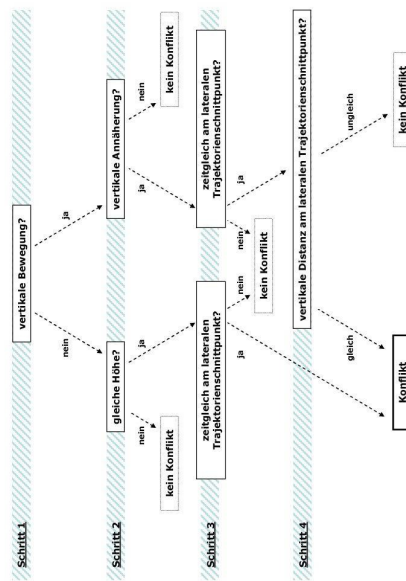
Instruktion zum Konfliktbeurteilungstraining

Instruktion und persönliche Angaben

Nur für die Trainingsgruppe!

Zu Ihrer Unterstützung bei der Aufgabenbearbeitung möchten wir Ihnen eine Strategie zur Konfliktbeurteilung vorstellen.

Die nachfolgende Abbildung, die Ihnen während des gesamten Trainings zur Verfügung steht, zeigt einen Entscheidungsbaum, den Sie in den nächsten Minuten mit Hilfe des Versuchsleiters und einigen Trainings-szenarien verinnerlichen sollen. Sehen wir uns diesen einmal an.



Der erste Schritt besteht immer darin, sich Informationen über die vertikale Bewegung der beiden Luftfahrzeuge zu verschaffen. Liegen keine vertikalen Bewegungen vor, muss in einem zweiten Schritt lediglich überprüft werden, ob sich die beiden Objekte auf der selben Höhe befinden. Ist dies nicht der Fall, wird keine Konfliktsituation entstehen. Liegen hingegen vertikale Bewegungen vor, muss überprüft werden, ob diese zu einer

Instruktion und persönliche Angaben

Entscheidung bereits fest, dass kein Konflikt entstehen wird.

Liegt jedoch keine vertikale Bewegung vor und die beiden Objekte bewegen sich auf der selben Höhe, muss die Situation darauf hin analysiert werden, ob und falls ja, wo sich die Flugbahnen auf der horizontalen Ebene überschneiden. Darauf aufbauend kann entschieden werden, ob beide Objekte diesen Schnittpunkt zeitgleich erreichen. Das Selbe gilt auch dann, wenn eine vertikale Bewegung vorliegt, die zu einer Annäherung der beiden Objekte führt. Wird ein horizontaler Schnittpunkt nicht zeitgleich erreicht, entsteht auch kein Konflikt.

Droht jedoch eine zeitgleiche Überschneidung auf der horizontalen Ebene, muss ermittelt werden, ob die beiden Objekte an diesem Schnittpunkt auch die selbe Höhe einnehmen. Ist dies nicht der Fall, wird kein Konflikt entstehen. Ist dies der Fall, liegt ein Konflikt vor.

	gar nicht	kaum	mittel	ziemlich	außer- ordent- lich
Wie gut haben Sie die Instruktion verstanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Haben Sie Fragen?

Falls ja, klären Sie diese zunächst mit dem Versuchsleiter.

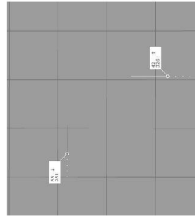
Falls nein, beginnt nun das Konfliktbeurteilungstraining. Der Versuchsleiter wird Ihnen zunächst die Anwendung der Konfliktbeurteilungsstrategie demonstrieren und Sie anschließend bei der eigenständigen Szenarienbeurteilung unterstützen.

Präferenzenerhebung

Konzeptbeurteilung – zusammenfassende Bewertung

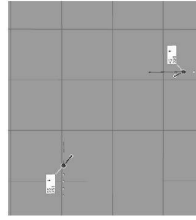
Bitte bringen Sie die Anzeigekonzepte durch die Vergabe von Zahlen zwischen 1 bis 4 in die Reihenfolge, die ihre **persönliche Präferenz** widerspiegelt. Verwenden Sie für das am besten geeignete Anzeigekonzept eine 1, für das Schlechteste eine 4. Unter jedem Bild haben wir Platz gelassen für Ihre Anmerkungen. Wir möchten Sie bitten, hier kurz zu erläutern, weshalb sie dem jeweiligen Anzeigekonzept seinen Platz in der Reihenfolge zuweisen.

• 2D Referenz



Anmerkungen:.....

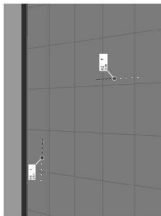
• 3D Aquarium



Anmerkungen:.....

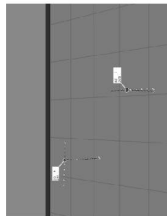
Konzeptbeurteilung – zusammenfassende Bewertung

• 3D Vogel-perspektive ohne Lote



Anmerkungen:.....

• 3D Vogel-perspektive mit Loten



Anmerkungen:.....

Ermittlung des Strategienutzens und -einsatzes - trainierte Laien

Konzeptbeurteilung – Konzept 1	
Wie häufig haben Sie die Konfliktbeurteilungsstrategie eingesetzt?	
nie	sehr selten
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eher selten	eher häufig
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr häufig	immer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für wie nützlich halten Sie die Anwendung der Konfliktbeurteilungsstrategie in Verbindung mit diesem Anzeige-konzept?	
gar nicht	kaum
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mittelmäßig	ziemlich
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
außerordentlich	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hier haben Sie die Möglichkeit Ihre Antwort zu verfeinern und sich auf spezifische Fälle zu beziehen.	
Die Konfliktbeurteilungsstrategie ließ sich dann ...	
schlecht anwenden, wenn ...	gut anwenden, wenn ...
.....
.....
.....
.....
.....
Bitte wenden Sie sich an den Versuchsleiter	

Vorab- und Post-hoc-Erhebung der Einstellung zu 3D - Fluglotsen

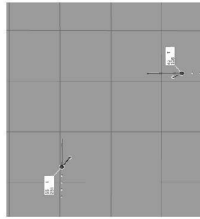
Konzeptbeurteilung – zusammenfassende Bewertung					
Wie stark stimmen Sie folgenden Aussagen zu?	gar nicht	kaum	mittel	ziemlich	außerordentlich
1. Ich bin mit dem derzeitigen Anzeigesystem an meinem Arbeitsplatz zufrieden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich halte technische Neuerungen bei den Anzeigesystemen generell für sinnvoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich glaube, dass 3D-Anzeigen das jetzige Anzeigesystem in der Zukunft ersetzen werden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich denke, dass 3D-Anzeigen eine gute Ergänzung zum jetzigen Anzeigesystem bieten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich halte die gezeigten Szenarien für repräsentativ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Potentialeinschätzung von 3D für Flugsicherungszwecke - Fluglotsen

Konzeptbeurteilung – zusammenfassende Bewertung

Bitte kreuzen Sie die Anzeigekonzepte an, denen Sie das Potential zutrauen im Rahmen der Flugsicherung Einsatz zu finden. Bitte nutzen Sie die Gelegenheit Anmerkungen zu geben und zu benennen, wo sie etwaige Einsatzmöglichkeiten für die jeweiligen Anzeigekonzepte sehen. Wenn Sie Verbesserungsvorschläge oder eigene Ideen für Anzeigekonzepte haben, die Ihnen ihre tägliche Arbeit erleichtern könnten, notieren Sie diese bitte.

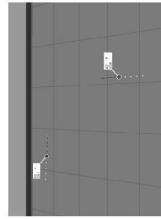
• 3D Aquarium



Anmerkungen:.....

.....

• 3D Vogelperspektive ohne Lote

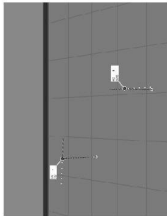


Anmerkungen:.....

.....

Konzeptbeurteilung – zusammenfassende Bewertung

• 3D Vogelperspektive mit Loten



Anmerkungen:.....

.....

7.2 Szenarienmerkmalsanalysen

Ergebnisse der vierfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung. Innersubjektfaktoren (Stufenanzahl): Konvergenzwinkel (3), vertikale Bewegung (4) und Anzeige-konzept (4). Zwischensubjekt-faktor: Probandengruppe (4). Abhängige Variable: Urteilsleistung und Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit bezüglich der Einschätzung von Situationen ohne Zusatzaufgabe.

Tabelle 7-1: Mauchly-Test auf Sphärizität

Innersubjekteffekt	Maß	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Greenhouse-Geisser
vertikale Bewegung	Beob. Zeit	,138	76,767	5	,000	,470
	Urteilsleistung	,236	55,959	5	,000	,564
Anzeige-konzept	Beob. Zeit	,848	6,382	5	,271	,894
	Urteilsleistung	,816	7,871	5	,164	,884
Konvergenz.	Beob. Zeit	,842	6,721	2	,035	,863
	Urteilsleistung	,878	5,094	2	,078	,891
vertikale Bewegung * Anzeige-konzept	Beob. Zeit	,093	87,417	44	,000	,661
	Urteilsleistung	,173	64,551	44	,025	,730
vertikale Bewegung * Konvergenz.	Beob. Zeit	,129	77,489	20	,000	,678
	Urteilsleistung	,318	43,317	20	,002	,738
Anzeige-konzept * Konvergenz.	Beob. Zeit	,465	28,913	20	,090	,810
	Urteilsleistung	,492	26,783	20	,143	,801
vertikale Bewegung * Anzeige-konzept * Konvergenz.	Beob. Zeit	,001	230,426	170	,002	,614
	Urteilsleistung	,003	199,364	170	,082	,623

Tabelle 7-2: Signifikanztests

Innersubjektfaktoren

Quelle	Maß		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
vertikale Bewegung	Beob. Zeit	(korrigiert)	314,589	1,411	222,892	128,186	,000	,762
	Urteilsleistung	(korrigiert)	32,024	1,693	18,916	108,241	,000	,730
Fehler (vertikale Bewegung)	Beob. Zeit	(korrigiert)	98,167	56,456	1,739			
	Urteilsleistung	(korrigiert)	11,834	67,718	,175			
Konvergenz.	Beob. Zeit	(korrigiert)	10,299	1,727	5,965	8,736	,001	,179
	Urteilsleistung		1,222	2	,611	19,465	,000	,327
Fehler (Konvergenz.)	Beob. Zeit	(korrigiert)	47,156	69,067	,683			
	Urteilsleistung		2,511	80	,031			
vertikale Bewegung * Konvergenz.	Beob. Zeit	(korrigiert)	19,467	4,070	4,783	11,369	,000	,221
Fehler (vertikale Bewegung * Konvergenz.)	Beob. Zeit	(korrigiert)	68,495	162,820	,421			
Anzeige-konzept * Konvergenz.	Beob. Zeit		2,408	6	,401	3,010	,007	,070
Fehler (Anzeige-konzept * Konvergenz.)	Beob. Zeit		32,002	240	,133			

Zwischensubjektfaktor

Quelle	Maß	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Probandengruppe	Beob. Zeit	101,491	3	33,830	4,023	,014	,232
Fehler	Beob. Zeit	336,367	40	8,409			

Tabelle 7-3: Deskriptive Statistik: Konvergenzwinkel und vertikale Bewegung

Maß	vertikale Bewegung	Konvergenz- winkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	keine	0°	3,280	,091	3,097	3,463
		90°	2,912	,089	2,732	3,093
		180°	3,380	,114	3,148	3,611
	eines sinkt	0°	2,392	,070	2,250	2,533
		90°	2,294	,067	2,159	2,429
		180°	2,188	,081	2,025	2,352
	beide sinken	0°	3,026	,076	2,873	3,179
		90°	2,846	,076	2,692	2,999
		180°	3,060	,074	2,910	3,210
	gegenläufig	0°	2,333	,078	2,176	2,490
		90°	2,374	,068	2,236	2,512
		180°	2,380	,075	2,229	2,532
Urteilsleistung	keine	0°	,873	,013	,846	,900
		90°	,846	,015	,816	,876
		180°	,894	,016	,862	,925
	eines sinkt	0°	,614	,029	,555	,673
		90°	,558	,027	,503	,613
		180°	,614	,023	,567	,662
	beide sinken	0°	,862	,019	,823	,900
		90°	,835	,014	,807	,864
		180°	,889	,014	,861	,917
	gegenläufig	0°	,667	,024	,618	,715
		90°	,607	,027	,551	,662
		180°	,677	,027	,622	,731

Tabelle 7-4: Deskriptive Statistik: Konvergenzwinkel und Probandengruppe

Maß	Probanden- gruppe	Konvergenz- winkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	Laien ohne Training	0°	2,501	,135	2,229	2,774
		90°	2,427	,141	2,142	2,711
		180°	2,590	,148	2,290	2,889
	Laien mit Training	0°	3,077	,129	2,817	3,336
		90°	3,003	,134	2,732	3,274
		180°	2,980	,141	2,695	3,266
	Piloten	0°	2,531	,129	2,272	2,791
		90°	2,397	,134	2,126	2,668
		180°	2,543	,141	2,257	2,828
	Fluglotsen	0°	2,922	,123	2,673	3,170
		90°	2,600	,128	2,340	2,859
		180°	2,896	,135	2,622	3,169
Urteilsleistung	Laien ohne Training	0°	,708	,035	,637	,780
		90°	,691	,035	,621	,760
		180°	,779	,031	,716	,841
	Laien mit Training	0°	,745	,034	,677	,813
		90°	,708	,033	,642	,775
		180°	,739	,029	,680	,799
	Piloten	0°	,732	,034	,664	,800
		90°	,734	,033	,668	,801
		180°	,776	,029	,717	,836
	Fluglotsen	0°	,830	,032	,765	,895
		90°	,713	,032	,649	,777
		180°	,780	,028	,723	,837

Tabelle 7-5: Deskriptive Statistik: Konvergenzwinkel und Anzeigeformat

Maß	Anzeige- konzept	Konvergenz- winkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	2D	0°	2,734	,075	2,583	2,885
		90°	2,631	,075	2,480	2,782
		180°	2,841	,083	2,673	3,009
	3Ds	0°	2,764	,068	2,628	2,901
		90°	2,646	,077	2,491	2,802
		180°	2,801	,077	2,646	2,956
	3DoL	0°	2,775	,077	2,620	2,930
		90°	2,590	,073	2,443	2,738
		180°	2,682	,084	2,512	2,852
	3DmL	0°	2,758	,074	2,609	2,906
		90°	2,558	,073	2,411	2,706
		180°	2,684	,083	2,516	2,853
Urteilsleistung	2D	0°	,743	,020	,701	,784
		90°	,713	,020	,672	,754
		180°	,779	,018	,742	,817
	3Ds	0°	,748	,021	,706	,789
		90°	,716	,018	,680	,752
		180°	,776	,017	,742	,810
	3DoL	0°	,766	,019	,729	,804
		90°	,714	,018	,677	,750
		180°	,765	,018	,728	,802
	3DmL	0°	,759	,019	,721	,796
		90°	,703	,020	,663	,744
		180°	,754	,018	,717	,791

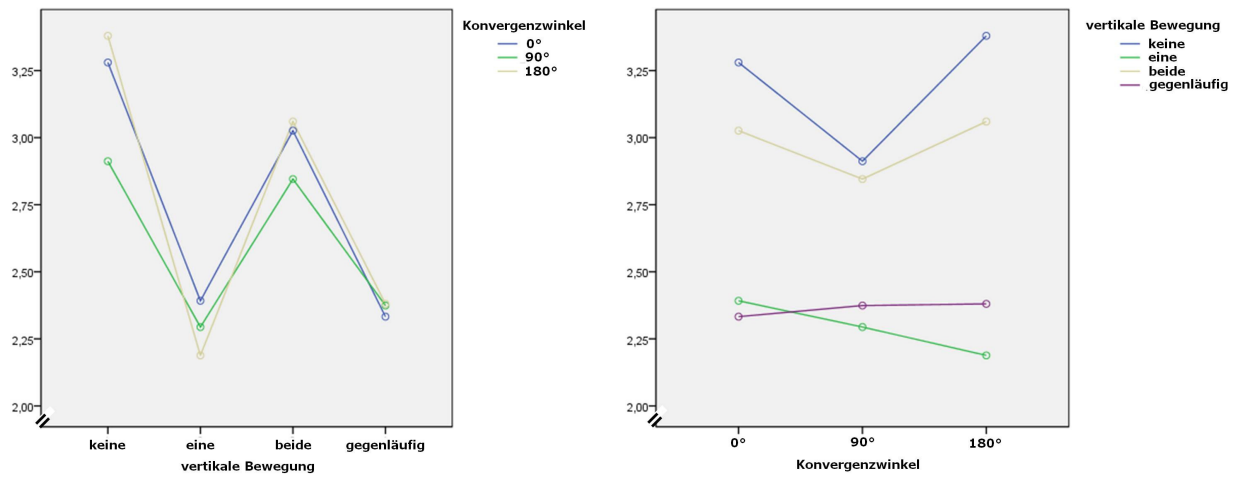


Abbildung 7-1: Interaktion (Beobachtungszeit): Konvergenzwinkel und vertikale Bewegung

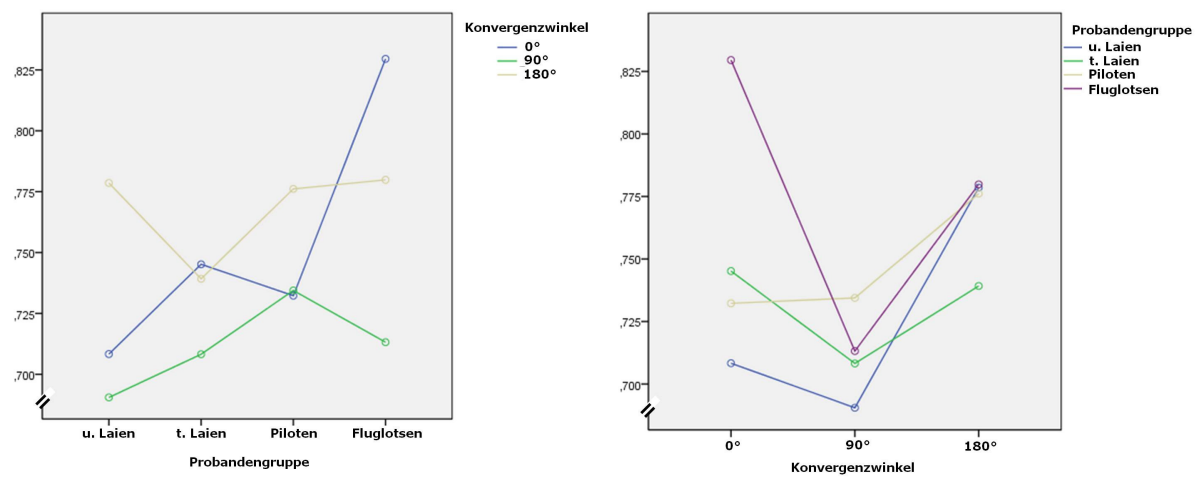


Abbildung 7-2: Interaktion (Urteilsleistung): Konvergenzwinkel und Probandengruppe

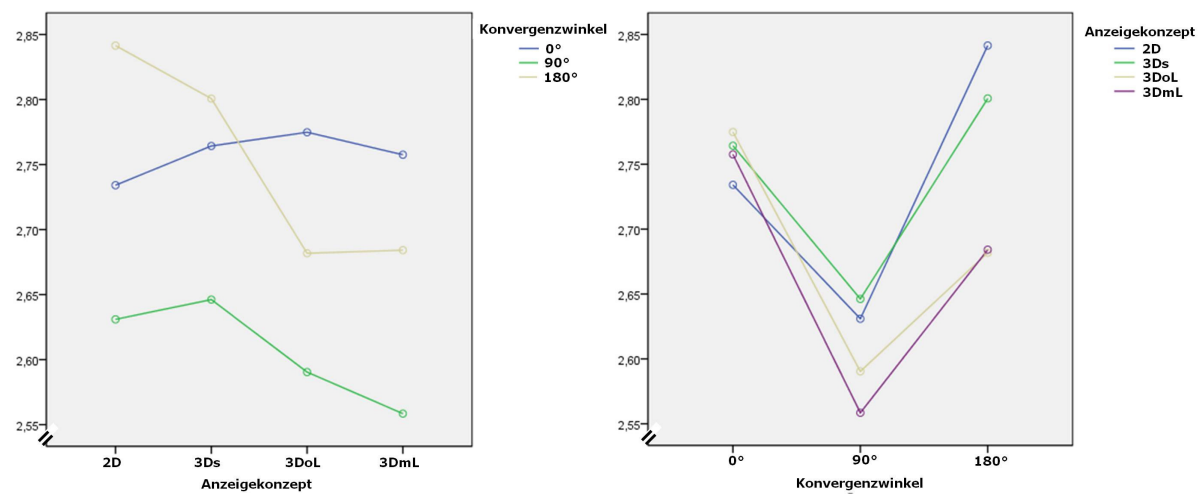


Abbildung 7-3: Interaktion (Beobachtungszeit): Konvergenzwinkel und Anzeigekonzept

Ergebnisse der vierfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung. Innersubjektfaktoren (Stufenanzahl): Konvergenzwinkel (3), vertikale Bewegung (2) und Anzeige-konzept (4). Zwischensubjektfaktor: Probandengruppe (4). Abhängige Variable: Urteilsleistung und Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit bezüglich der Einschätzung von vertikalen Separationsfällen ohne Zusatzaufgabe

Tabelle 7-6: Mauchly-Test auf Spärizität

Innersubjekteffekt	Maß	Mauchly-W	Approx. Chi- Quadrat	df	Sig.	Greenhouse- Geisser
vertikale Bewegung	Beob. Zeit	1,000	,000	0	,000	1,000
	Urteilsleistung	1,000	,000	0	,000	1,000
Anzeige-konzept	Beob. Zeit	,820	6,690	5	,245	,893
	Urteilsleistung	,783	8,254	5	,143	,859
Dimension	Beob. Zeit	,887	4,085	2	,130	,898
	Urteilsleistung	,422	29,341	2	,000	,634
vertikale Bewegung * Anzeige-konzept	Beob. Zeit	,862	5,003	5	,416	,914
	Urteilsleistung	,889	3,965	5	,555	,937
vertikale Bewegung * Dimension	Beob. Zeit	,951	1,712	2	,425	,953
	Urteilsleistung	,781	8,398	2	,015	,820
Anzeige-konzept * Dimension	Beob. Zeit	,601	16,713	20	,673	,848
	Urteilsleistung	,164	59,310	20	,000	,665
vertikale Bewegung * Anzeige-konzept * Dimension	Beob. Zeit	,710	11,237	20	,940	,902
	Urteilsleistung	,476	24,314	20	,231	,808

Tabelle 7-7: Signifikanztests

Innersubjektfaktoren

Quelle	Maß	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
vertikale Bewegung	Beob. Zeit	21,787	1,000	21,787	101,326	,000	,743
	Urteilsleistung	2,093	1,000	2,093	245,119	,000	,875
Fehler (vertikale Bewegung)	Beob. Zeit	7,526	35,000	,215			
	Urteilsleistung	,299	35,000	,009			
Anzeige- konzept	Urteilsleistung	,133	3	,044	5,051	,003	,126
Fehler	Urteilsleistung	,920	105	,009			
Dimension	Beob. Zeit	289,798	2	144,899	180,316	,000	,837
	Urteilsleistung (korrigiert)	14,875	1,267	11,737	70,348	,000	,668
Fehler (Dimension)	Beob. Zeit	56,251	70	,804			
	Urteilsleistung (korrigiert)	7,401	44,357	,167			
vertikale Bewegung* Dimension	Beob. Zeit	11,202	2	5,601	22,760	,000	,394
	Urteilsleistung (korrigiert)	2,104	1,641	1,282	41,757	,000	,544
Fehler (vertikale Bewegung*)	Beob. Zeit	17,226	70	,246			
	Urteilsleistung (korrigiert)	1,764	57,431	,031			
vertikale Bewegung * Anzeige- konzept * Dimension	Beob. Zeit	1,212	6	,202	3,086	,006	,081
Fehler (vertikale Bewegung * Anzeige- konzept * Dimension)	Beob. Zeit	13,750	210	,065			

Zwischensubjektfaktor

Quelle	Maß	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Probandengruppe	Beob. Zeit	47,640	3	15,880	4,779	,007	,291
Fehler (Probandengruppe)	Beob. Zeit	116,296	35	3,323			

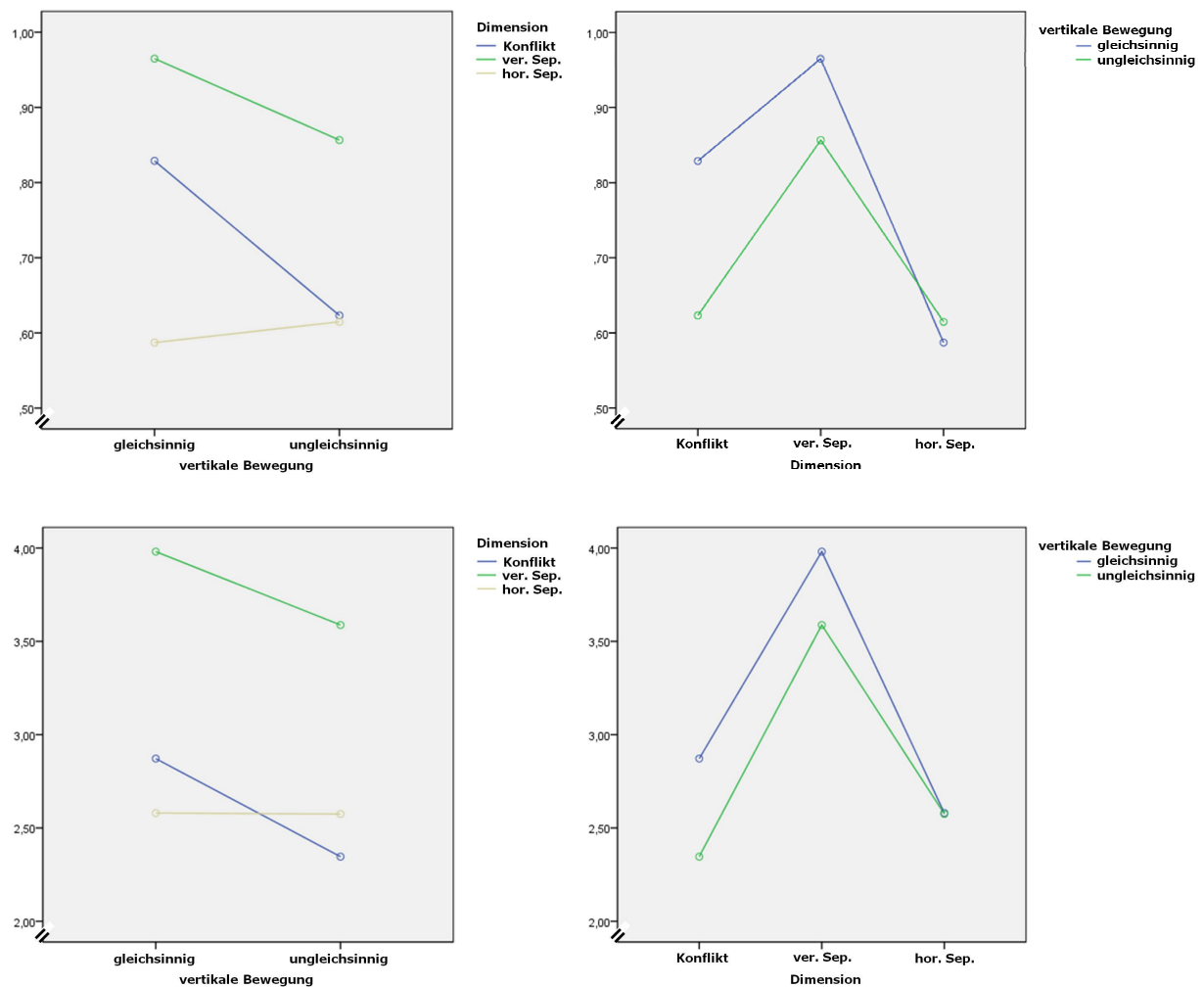


Abbildung 7-4: Interaktion (Urteilsleistung oben; Beobachtungszeit unten): Dimension und vertikale Bewegung

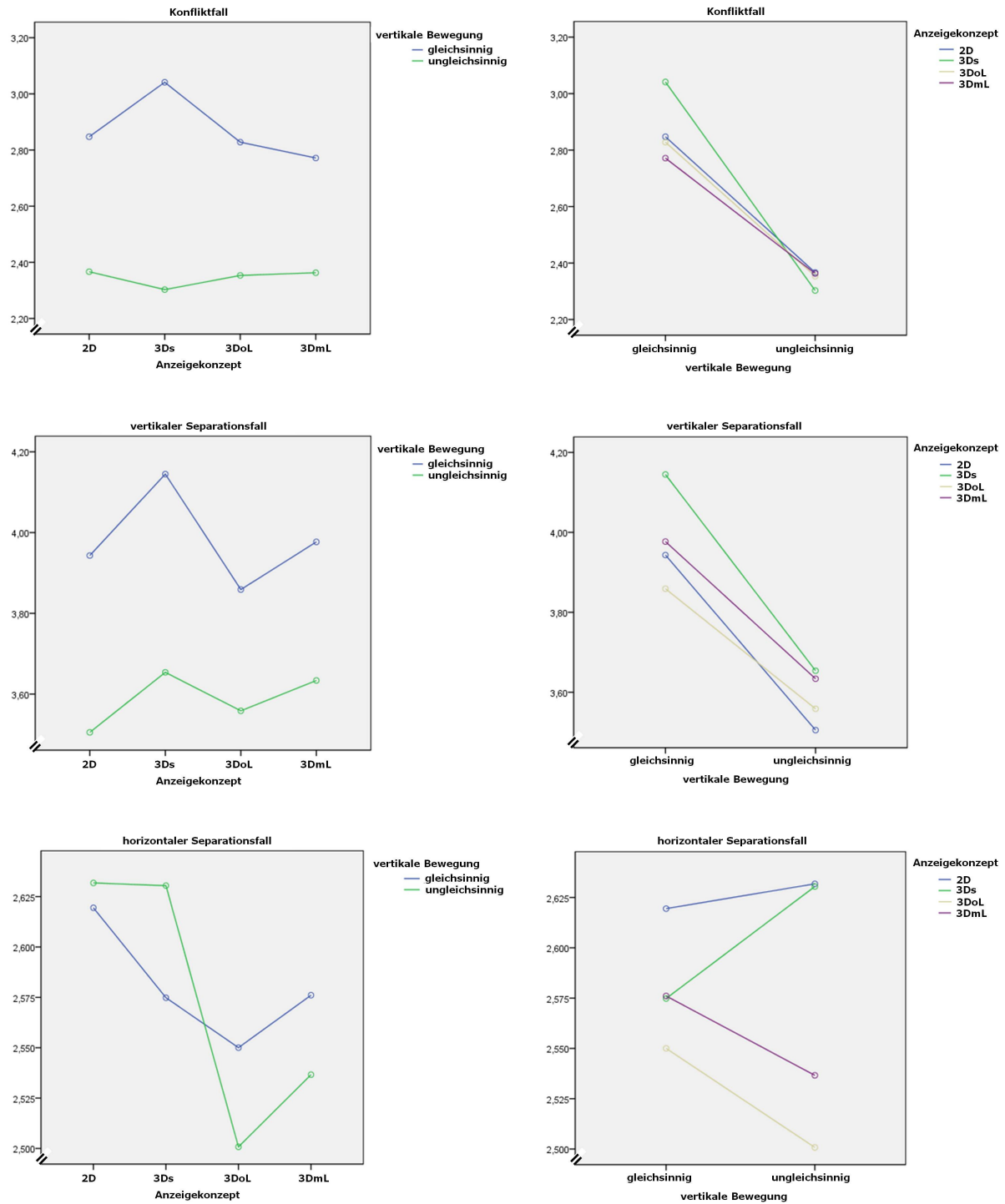


Abbildung 7-5: Interaktion (Beobachtungszeit): Dimension, vertikale Bewegung und Anzeigekonzept

Tabelle 7-8: Deskriptive Statistik: vertikale Bewegung, Anzeigekonzept und Dimension

Maß	vertikale Bewegung	Anzeige- konzept	Dimension	Mittelwert	Standard- fehler	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	gleich	2D	Konflikt	2,847	,119	2,605	3,090
			ver. Sep.	3,943	,086	3,768	4,118
			hor. Sep.	2,619	,094	2,428	2,811
		3Ds	Konflikt	3,041	,115	2,809	3,274
			ver. Sep.	4,145	,091	3,961	4,329
			hor. Sep.	2,575	,085	2,402	2,747
		3DoL	Konflikt	2,828	,092	2,642	3,014
			ver. Sep.	3,859	,092	3,671	4,047
			hor. Sep.	2,550	,089	2,369	2,731
		3DmL	Konflikt	2,772	,101	2,567	2,976
			ver. Sep.	3,977	,082	3,810	4,144
			hor. Sep.	2,576	,091	2,392	2,761
	ungleich	2D	Konflikt	2,367	,079	2,206	2,527
			ver. Sep.	3,505	,085	3,332	3,678
			hor. Sep.	2,632	,098	2,432	2,831
		3Ds	Konflikt	2,303	,094	2,112	2,493
			ver. Sep.	3,654	,088	3,476	3,832
			hor. Sep.	2,630	,096	2,436	2,825
		3DoL	Konflikt	2,353	,085	2,181	2,525
			ver. Sep.	3,559	,100	3,356	3,761
			hor. Sep.	2,501	,112	2,273	2,729
		3DmL	Konflikt	2,363	,081	2,199	2,527
			ver. Sep.	3,634	,085	3,462	3,806
			hor. Sep.	2,537	,094	2,346	2,727
Urteilsleistung	gleich	2D	Konflikt	,834	,019	,795	,873
			ver. Sep.	,971	,007	,957	,985
			hor. Sep.	,635	,035	,563	,706
		3Ds	Konflikt	,846	,019	,808	,884
			ver. Sep.	,969	,008	,953	,985
			hor. Sep.	,587	,029	,529	,645

Maß	vertikale Bewegung	Anzeige- konzept	Dimension	Mittelwert	Standard- fehler	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Urteilsleistung	gleich	3DoL	Konflikt	,820	,017	,785	,855
			ver. Sep.	,944	,013	,918	,970
			hor. Sep.	,544	,030	,482	,605
		3DmL	Konflikt	,815	,020	,773	,856
			ver. Sep.	,976	,006	,964	,988
			hor. Sep.	,583	,035	,513	,654
		2D	Konflikt	,642	,023	,596	,689
			ver. Sep.	,862	,017	,827	,897
			hor. Sep.	,645	,033	,578	,711
	ungleich	3Ds	Konflikt	,600	,022	,556	,645
			ver. Sep.	,850	,020	,810	,890
			hor. Sep.	,615	,029	,556	,674
		3DoL	Konflikt	,629	,020	,588	,671
			ver. Sep.	,845	,018	,808	,882
			hor. Sep.	,606	,031	,542	,669
		3DmL	Konflikt	,621	,024	,573	,669
			ver. Sep.	,869	,016	,836	,901
			hor. Sep.	,593	,036	,519	,667

Tabelle 7-9: Deskriptive Statistik: Probandengruppe

Maß	Probandengruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	Laien ohne Training	2,832	,132	2,565	3,099
	Laien mit Training	3,322	,112	3,094	3,550
	Piloten	2,766	,112	2,538	2,994
	Fluglotsen	3,042	,124	2,790	3,294
Urteilsleistung	Laien ohne Training	,737	,019	,698	,775
	Laien mit Training	,755	,016	,723	,788
	Piloten	,730	,016	,697	,763
	Fluglotsen	,762	,018	,725	,798

Ergebnisse der vierfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung auf Basis der 90° Bedingung. Innersubjektfaktoren (Stufenanzahl): Anzeigekonzept (4) und Dimension (3). Zwischensubjektfaktoren: Ansichtswinkel (4) und Probandengruppe (4). Abhängige Variable: Urteilsleistung und Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit bezüglich der Separationseinschätzung ohne Zusatzaufgabe.

Tabelle 7-10: Mauchly-Test auf Spärizität – 90° Bedingung ohne auditive Zusatzaufgabe

Innersubjekteffekt	Maß	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Greenhouse-Geisser
Anzeigekonzept	Beobachtungszeit	,971	4,317	5	,505	,980
	Urteilsleistung	,967	4,924	5	,425	,978
Dimension	Beobachtungszeit	,797	33,749	2	,000	,831
	Urteilsleistung	,520	97,511	2	,000	,676
Anzeigekonzept * Dimension	Beobachtungszeit	,767	39,112	20	,006	,921
	Urteilsleistung	,560	85,783	20	,000	,859

Tabelle 7-11: Signifikanztests – 90° Bedingung ohne auditive Zusatzaufgabe

Innersubjekteffekte

Quelle	Maß	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Anzeigekonzept * Ansichtswinkel	Beob. Zeit (korrigiert)	7,582	8,820	,860	3,307	,001	,062

Zwischensubjekteffekte

Quelle	Maß	Quadrat- summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Ansichtswinkel	Beobachtungszeit	23,347	3	7,782	3,041	,031	,057
	Urteilsleistung	,988	3	,329	3,624	,015	,068
Fehler	Beobachtungszeit	383,897	150	2,559			
	Urteilsleistung	13,632	150	,091			

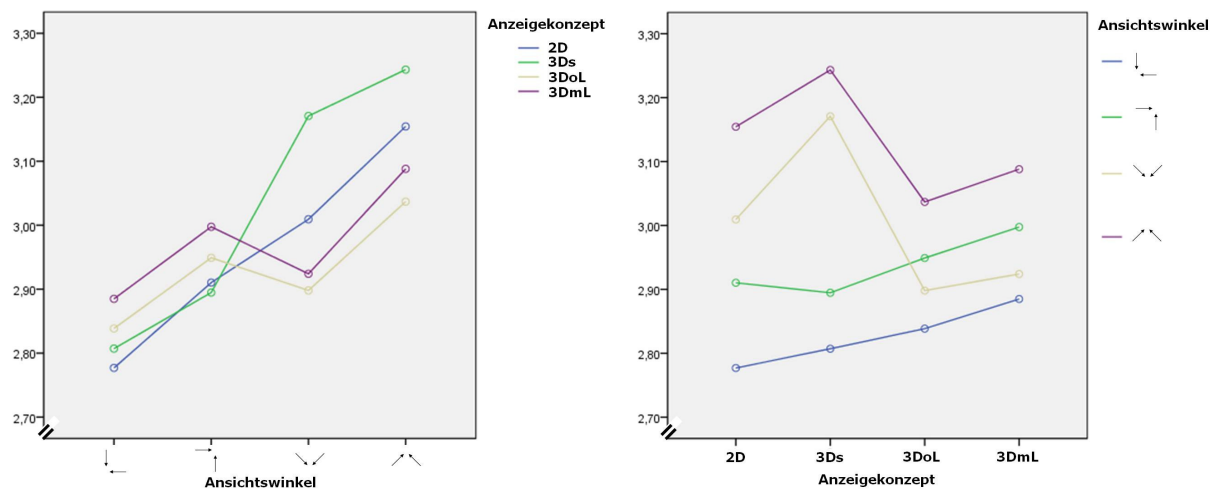


Abbildung 7-6: Interaktion (Beobachtungszeit): Ansichtswinkel und Anzeigeformat – 90° ohne auditive Zusatzaufgabe

Tabelle 7-12: Deskriptive Statistik: Ansichtswinkel und Anzeige-konzept – 90° ohne auditive Zusatzaufgabe

Maß	Ansichtswinkel	Anzeige-konzept	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungzeit		2D	2,777	,086	2,606	2,948
		3Ds	2,807	,090	2,630	2,984
		3DoL	2,839	,094	2,652	3,025
		3DmL	2,885	,084	2,720	3,050
		2D	2,910	,083	2,746	3,075
		3Ds	2,895	,087	2,724	3,066
		3DoL	2,949	,091	2,769	3,129
		3DmL	2,998	,081	2,838	3,157
		2D	3,009	,076	2,859	3,159
		3Ds	3,171	,079	3,015	3,326
		3DoL	2,898	,083	2,734	3,062
		3DmL	2,924	,073	2,779	3,069
		2D	3,154	,076	3,004	3,304
		3Ds	3,243	,079	3,088	3,399
		3DoL	3,037	,083	2,873	3,201
		3DmL	3,088	,073	2,943	3,233
Urteilsleistung		2D	,710	,018	,673	,746
		3Ds	,703	,019	,667	,740
		3DoL	,700	,017	,666	,733
		3DmL	,715	,018	,680	,750
		2D	,763	,018	,728	,798
		3Ds	,742	,018	,706	,777
		3DoL	,735	,016	,702	,767
		3DmL	,745	,017	,711	,778
		2D	,783	,016	,751	,814
		3Ds	,759	,016	,727	,792
		3DoL	,720	,015	,690	,749
		3DmL	,749	,016	,718	,779
		2D	,775	,016	,744	,807
		3Ds	,765	,016	,733	,797
		3DoL	,768	,015	,739	,798
		3DmL	,771	,016	,741	,802

Ergebnisse der vierfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung auf Basis der 0° Bedingung. Innersubjektfaktoren (Stufenanzahl): Anzeigekonzept (4) und Dimension (3). Zwischensubjektfaktoren: Ansichtswinkel (4) und Probandengruppe (4). Abhängige Variable: Urteilsleistung und Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit bezüglich der Separationseinschätzung ohne Zusatzaufgabe.

Tabelle 7-13: Mauchly-Test auf Spärizität – 0°

Innersubjekteffekt	Maß	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Greenhouse-Geisser
Anzeigekonzept	Beobachtungszeit	,979	3,171	5	,674	,986
	Urteilsleistung	,974	3,919	5	,561	,982
Dimension	Beobachtungszeit	,974	3,834	2	,147	,975
	Urteilsleistung	,989	1,578	2	,454	,990
Anzeigekonzept * Dimension	Beobachtungszeit	,795	33,619	20	,029	,931
	Urteilsleistung	,418	128,018	20	,000	,765

Tabelle 7-14: Signifikanztests – 0°

Innersubjekteffekte

Quelle	Maß	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Anzeigekon. * Ansichtswinkel	Beobachtungszeit (korrigiert)	5,631	8,875	,634	2,023	,036	,039
Dimension * Ansichtswinkel	Beobachtungszeit (korrigiert)	30,973	5,850	5,294	3,358	,004	,063

Zwischensubjekteffekt

Quelle	Maß	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Ansichtswinkel	Urteilsleistung	1,745	3	,582	4,468	,005	,083
Fehler	Urteilsleistung	19,396	149	,130			

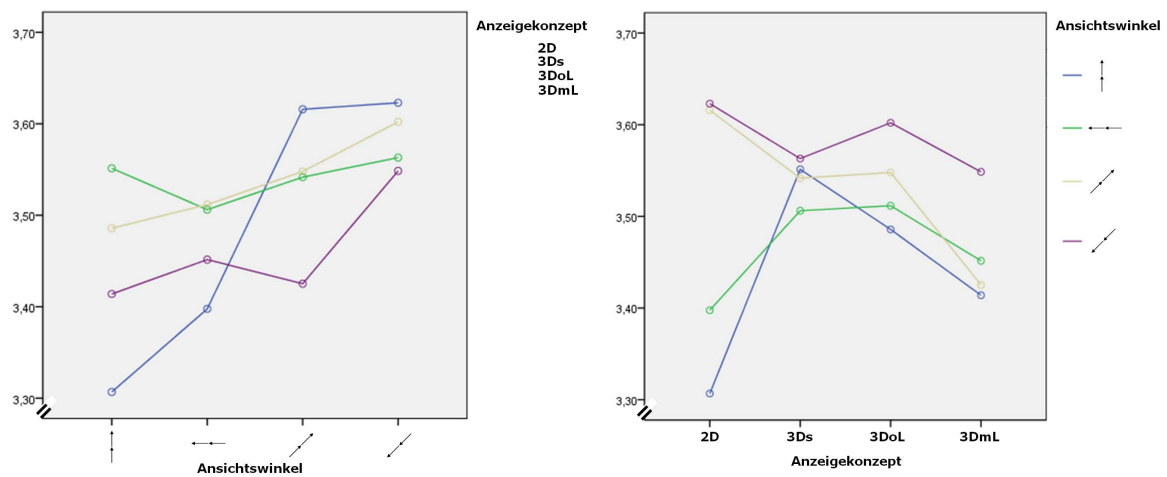


Abbildung 7-7: Interaktion (Beobachtungszeit): Ansichtswinkel und Anzeigeformat – 0°

Tabelle 7-15: Deskriptive Statistik: Ansichtswinkel und Anzeigeformat – 0°

Maß	Ansichtswinkel	Anzeigeformat	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	↕	2D	3,307	,089	3,131	3,483
		3Ds	3,551	,095	3,364	3,739
		3DoL	3,486	,086	3,316	3,656
		3DmL	3,414	,090	3,236	3,592
	↔	2D	3,398	,087	3,225	3,570
		3Ds	3,506	,093	3,323	3,689
		3DoL	3,512	,084	3,345	3,678
		3DmL	3,452	,088	3,277	3,626
	↗	2D	3,616	,089	3,440	3,792
		3Ds	3,542	,095	3,354	3,729
		3DoL	3,548	,086	3,378	3,718
		3DmL	3,425	,090	3,247	3,603
	↘	2D	3,623	,106	3,413	3,833
		3Ds	3,563	,113	3,339	3,787
		3DoL	3,602	,103	3,399	3,805
		3DmL	3,549	,108	3,336	3,761

Maß	Ansichtswinkel	Anzeige- konzept	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Urteilsleistung	↑	2D	,844	,017	,810	,879
		3Ds	,870	,017	,836	,904
		3DoL	,866	,017	,833	,899
		3DmL	,842	,018	,806	,877
	←	2D	,844	,017	,810	,878
		3Ds	,829	,017	,796	,862
		3DoL	,847	,016	,814	,879
		3DmL	,837	,018	,802	,872
	↗	2D	,874	,017	,840	,909
		3Ds	,880	,017	,846	,914
		3DoL	,868	,017	,835	,901
		3DmL	,874	,018	,839	,910
	↘	2D	,926	,021	,885	,967
		3Ds	,931	,021	,890	,971
		3DoL	,933	,020	,894	,972
		3DmL	,910	,021	,867	,952

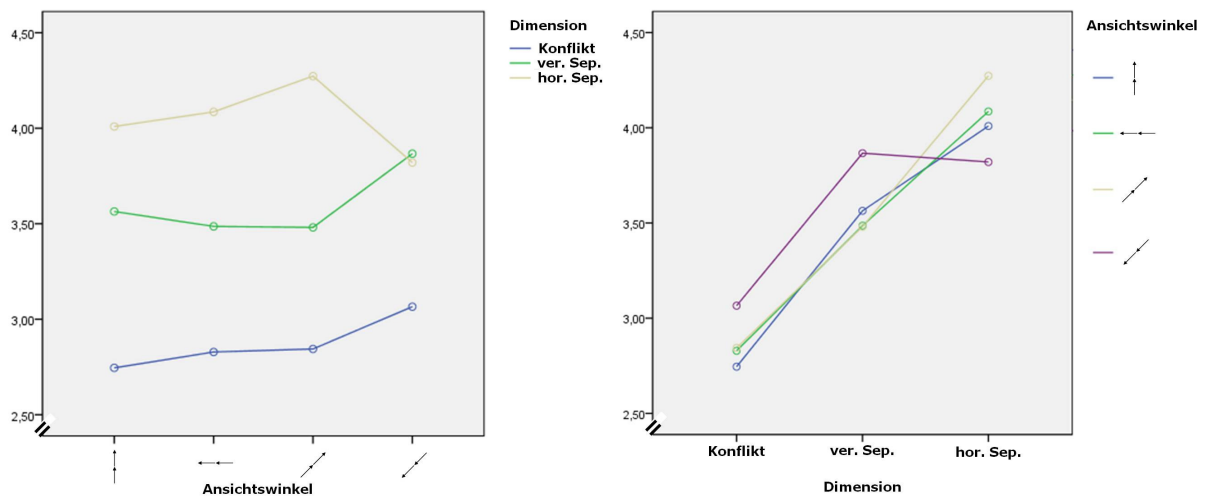

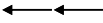








Abbildung 7-8: Interaktion (Beobachtungszeit): Ansichtswinkel und Dimension – 0°

Tabelle 7-16: Deskriptive Statistik: Ansichtswinkel und Dimension – 0°

Maß	Ansichtswinkel	Dimension	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit		Konflikt	2,745	,095	2,558	2,933
		ver.Sep.	3,564	,139	3,289	3,839
		hor.Sep.	4,009	,091	3,829	4,189
		Konflikt	2,829	,093	2,645	3,012
		ver.Sep.	3,486	,136	3,217	3,755
		hor.Sep.	4,086	,089	3,910	4,262
		Konflikt	2,844	,095	2,657	3,032
		ver.Sep.	3,481	,139	3,206	3,756
		hor.Sep.	4,273	,091	4,093	4,453
		Konflikt	3,066	,113	2,842	3,289
		ver.Sep.	3,867	,166	3,538	4,195
		hor.Sep.	3,820	,109	3,605	4,035
Urteilsleistung		Konflikt	,789	,026	,738	,841
		ver.Sep.	,825	,032	,761	,888
		hor.Sep.	,953	,021	,912	,994
		Konflikt	,768	,026	,718	,819
		ver.Sep.	,815	,031	,753	,877
		hor.Sep.	,934	,020	,894	,974
		Konflikt	,748	,026	,696	,800
		ver.Sep.	,883	,032	,820	,946
		hor.Sep.	,991	,021	,950	1,032
		Konflikt	,856	,031	,794	,917
		ver.Sep.	,960	,038	,885	1,035
		hor.Sep.	,959	,025	,910	1,008

Ergebnisse der vierfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung auf Basis der 180° Bedingung. Innersubjektfaktoren (Stufenanzahl): Anzeigekonzept (4) und Dimension (3). Zwischensubjektfaktoren: Ansichtswinkel (4) und Probandengruppe (4). Abhängige Variable: Urteilsleistung und Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit bezüglich der Separationseinschätzung ohne Zusatzaufgabe.

Tabelle 7-17: Mauchly-Test auf Spärizität – 180°

Innersubjekteffekt	Maß	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Greenhouse-Geisser
Anzeigekonzept	Beobachtungszeit	,957	6,579	5	,254	,971
	Urteilsleistung	,929	11,095	5	,050	,955
Dimension	Beobachtungszeit	1,000	,000	0	.	1,000
	Urteilsleistung	1,000	,000	0	.	1,000
Anzeigekonzept * Dimension	Beobachtungszeit	,963	5,617	5	,345	,975
	Urteilsleistung	,878	19,443	5	,002	,917









Tabelle 7-18: Signifikanztests – 180°

Innersubjekteffekte - keine statistisch bedeutsamen Effekte

Zwischensubjekteffekt

Quelle	Maß	Quadrat-summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Ansichtswinkel	Urteilsleistung	2,440	3	,813	4,836	,003	,088
Fehler	Urteilsleistung	25,395	151	,168			

Tabelle 7-19: Deskriptive Statistik: Ansichtswinkel und Anzeigeformat – 180°

Maß	Ansichtswinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit		3,164	,099	2,968	3,359
		3,157	,098	2,964	3,351
		3,163	,100	2,965	3,360
		3,498	,118	3,266	3,731
Urteilsleistung		,808	,022	,766	,851
		,792	,021	,749	,834
		,816	,022	,772	,859
		,912	,026	,861	,963

7.3 Situationsmerkmalsanalysen

Ergebnisse der fünffaktoriellen multivariaten Varianzanalysen mit Messwiederholung. Innersubjektfaktoren (Stufenanzahl): Anzeige-konzept (4), auditive Zusatzaufgabe (2), Dimension (3) und vertikale Bewegung (2). Zwischensubjektfaktor: Probandengruppe (4). Abhängige Variable: Urteilsleistung und Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit bezüglich der Einschätzung von Szenarien mit 90° Konvergenzwinkel

Tabelle 7-20: Mauchly-Test auf Spärizität

Innersubjekteffekt	Maß	Mauchly-W	Approx. Chi- Quadrat	df	Sig.	Greenhouse- Geisser
auditive Zusatzaufgabe	Beobachtungszeit	1,000	,000	0	.	1,000
	Urteilsleistung	1,000	,000	0	.	1,000
vertikale Bewegung	Beobachtungszeit	1,000	,000	0	.	1,000
	Urteilsleistung	1,000	,000	0	.	1,000
Anzeige-konzept	Beobachtungszeit	,766	9,008	5	,109	,853
	Urteilsleistung	,850	5,495	5	,359	,900
Dimension	Beobachtungszeit	,739	10,280	2	,006	,793
	Urteilsleistung	,347	36,035	2	,000	,605
auditive Zusatzaufgabe * Dimension	Beobachtungszeit	,799	7,622	2	,022	,833
	Urteilsleistung	,937	2,199	2	,333	,941
vertikale Bewegung * Dimension	Beobachtungszeit	,957	1,510	2	,470	,958
	Urteilsleistung	,712	11,557	2	,003	,776
auditive Zusatzaufgabe * vertikale Bewegung * Dimension	Beobachtungszeit	,944	1,962	2	,375	,947
	Urteilsleistung	,954	1,612	2	,447	,956
Anzeige-konzept * Dimension	Beobachtungszeit	,419	28,507	20	,099	,742
	Urteilsleistung	,204	52,036	20	,000	,701

Tabelle 7-21: Signifikanztests

Innersubjekteffekte

Quelle	Maß	Quadrat- summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
auditive Zusatzaufgabe	Beob. Zeit	19,301	1,000	19,301	26,536	,000	,432
	Urteilsleistung	1,216	1,000	1,216	63,912	,000	,646
Fehler (auditive Zusatzaufgabe)	Beob. Zeit	25,458	35,000	,727			
	Urteilsleistung	,666	35,000	,019			
vertikale Bewegung	Beob. Zeit	40,663	1,000	40,663	115,659	,000	,768
	Urteilsleistung	3,962	1,000	3,962	204,451	,000	,854
Fehler (vertikale Bewegung)	Beob. Zeit	12,305	35,000	,352			
	Urteilsleistung	,678	35,000	,019			
Anzeigekonzept	Urteilsleistung	,187	3	,062	4,463	,005	,113
Fehler (Anzeigekonzept)	Urteilsleistung	1,469	105	,014			
Dimension	Beob. Zeit (korrigiert)	384,960	1,586	242,703	156,677	,000	,817
	Urteilsleistung (korrigiert)	31,890	1,210	26,365	82,172	,000	,701
Fehler (Dimension)	Beob. Zeit (korrigiert)	85,996	55,515	1,549			
	Urteilsleistung (korrigiert)	13,583	42,335	,321			
auditive Zusatzaufgabe * Dimension	Beob. Zeit (korrigiert)	19,842	1,666	11,914	51,873	,000	,597
Fehler (Zusatz- aufgabe * Dimension)	Beob. Zeit (korrigiert)	13,388	58,293	,230			

Quelle	Maß	Quadrat- summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
vertikale Bewegung *	Beob. Zeit	10,977	2	5,488	20,751	,000	,372
Dimension	Urteilsleistung (korrigiert)	5,081	1,553	3,273	56,205	,000	,616
Fehler (vertikale Bewegung *	Beob. Zeit	18,514	70	,264			
Dimension)	Urteilsleistung (korrigiert)	3,164	54,341	,058			
auditive Zusatzaufgabe *							
vertikale Bewegung *	Beob. Zeit	2,062	2	1,031	11,103	,000	,241
Dimension							
Fehler (auditive Zusatzaufgabe *	Beob. Zeit	6,499	70	,093			
vertikale Bewegung *							
Dimension)							
auditive Zusatzaufgabe *							
vertikale Bewegung *	Urteilsleistung (korrigiert)	,121	5,734	,021	2,339	,044	,167
Dimension *							
Probandengruppe							
Anzeigekonzept *	Beob. Zeit	2,352	6	,392	2,352	,032	,063
Dimension							
Fehler (Anzeigekonzept *	Beob. Zeit	35,001	210	,167			
Dimension)							

Zwischensubjekteffekt

Quelle	Maß	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Probanden- gruppe	Beob. Zeit	67,389	3	22,463	3,456	,027	,229
Fehler	Beob. Zeit	227,514	35	6,500			

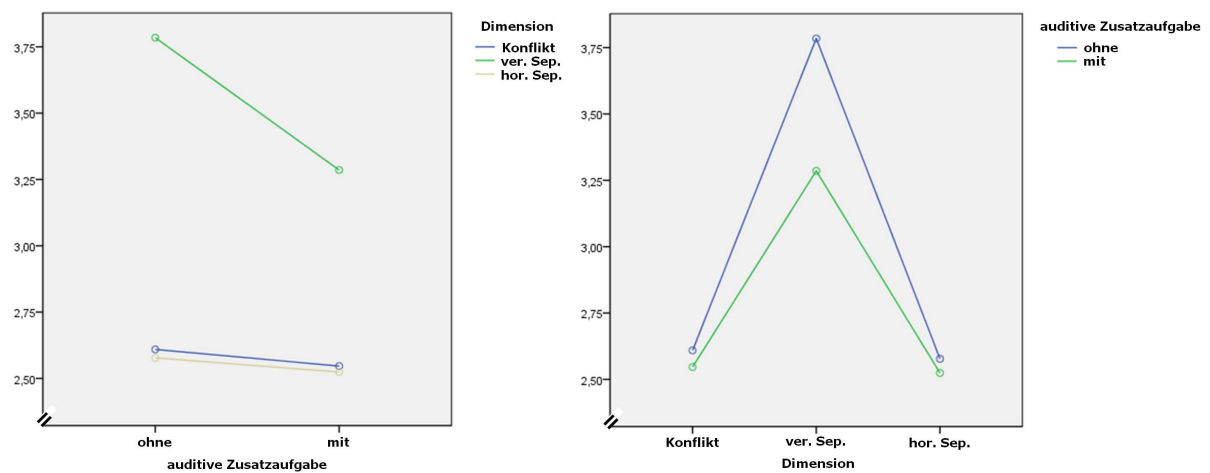


Abbildung 7-9: Interaktion (Beobachtungszeit): auditive Zusatzaufgabe und Dimension

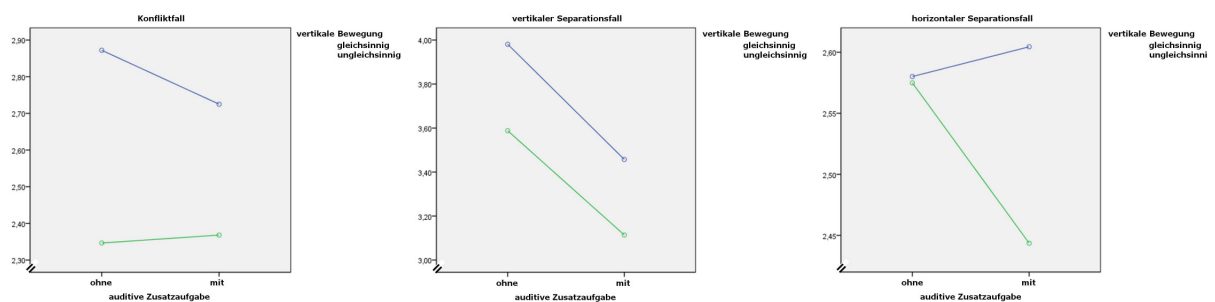


Abbildung 7-10: Interaktion (Beobachtungszeit): auditive Zusatzaufgabe, Dimension und vertikale Bewegung

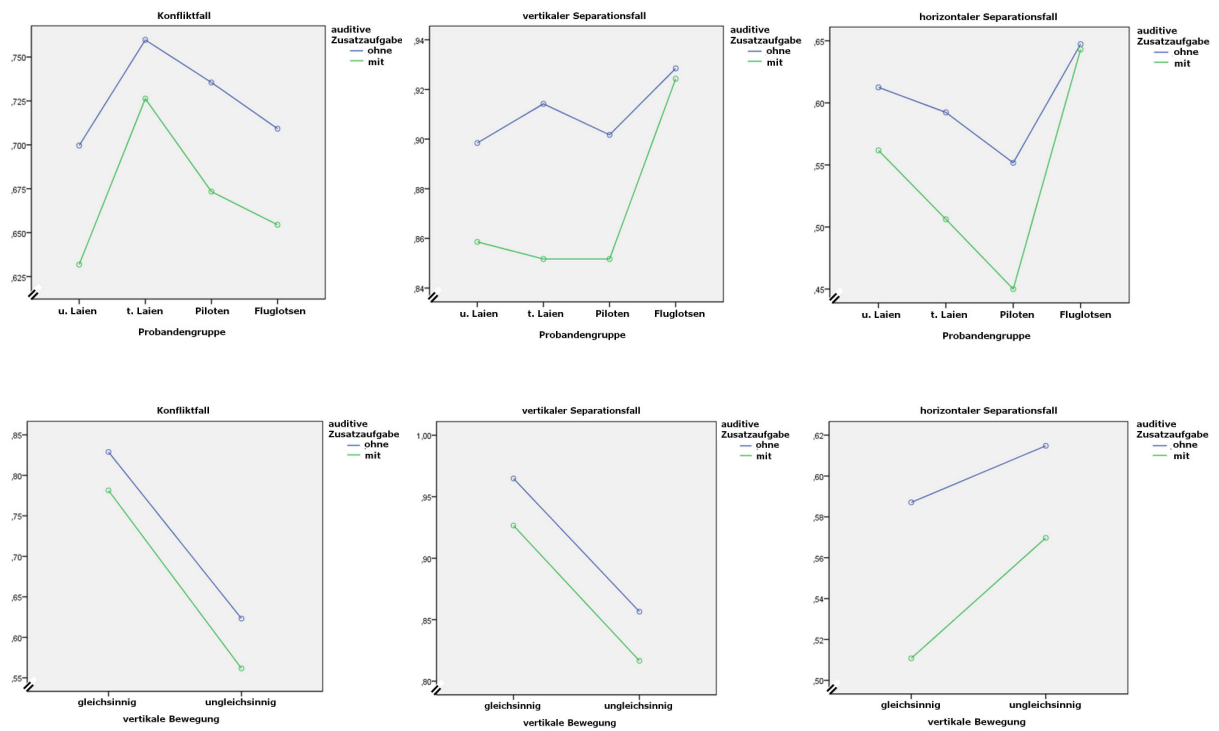


Abbildung 7-11: Interaktion (Urteilsleistung): auditive Zusatzaufgabe, Dimension, vertikale Bewegung und Probandengruppe

Tabelle 7-22: Deskriptive Statistik: Interaktion zwischen auditive Zusatzaufgabe, Dimension, vertikale Bewegung und Probandengruppe

Maß	Probanden- gruppe	auditive Zusatz- aufgabe	vertikale Bewegung	Dimension	Mittel- wert	Standard- fehler	95%- Konfidenzintervall	
							Unter- grenze	Ober- grenze
Beobacht- ungszeit	Laien ohne Training	ohne	gleich	Konflikt	2,702	,204	2,288	3,115
				ver.Sep.	3,734	,145	3,440	4,029
				hor.Sep.	2,500	,159	2,178	2,822
			ungleich	Konflikt	2,195	,163	1,865	2,526
				ver.Sep.	3,430	,163	3,098	3,761
				hor.Sep.	2,430	,188	2,048	2,811
		mit	gleich	Konflikt	2,633	,190	2,247	3,019
				ver.Sep.	3,195	,182	2,826	3,564
				hor.Sep.	2,477	,160	2,152	2,801
			ungleich	Konflikt	2,275	,160	1,951	2,599
				ver.Sep.	2,867	,173	2,516	3,218
				hor.Sep.	2,266	,159	1,943	2,589
	Laien mit Training	ohne	gleich	Konflikt	3,386	,174	3,034	3,739
				ver.Sep.	4,097	,124	3,846	4,348
				hor.Sep.	2,901	,135	2,626	3,175
			ungleich	Konflikt	2,741	,139	2,459	3,022
				ver.Sep.	3,898	,139	3,615	4,181
				hor.Sep.	2,909	,160	2,584	3,234
		mit	gleich	Konflikt	2,979	,162	2,650	3,308
				ver.Sep.	3,517	,155	3,202	3,832
				hor.Sep.	2,807	,136	2,530	3,084
			ungleich	Konflikt	2,536	,136	2,260	2,813
				ver.Sep.	3,210	,147	2,911	3,509
				hor.Sep.	2,636	,136	2,361	2,912

Maß	Probanden- gruppe	auditive Zusatz- aufgabe	vertikale Bewegung	Dimension	Mittel- wert	Standard- fehler	95%- Konfidenzintervall	
							Unter- grenze	Ober- grenze
Beobacht- ungszeit	Piloten	ohne	gleich	Konflikt	2,657	,174	2,304	3,010
				ver.Sep.	3,864	,124	3,613	4,115
				hor.Sep.	2,330	,135	2,055	2,604
			ungleich	Konflikt	2,114	,139	1,832	2,396
				ver.Sep.	3,392	,139	3,109	3,675
				hor.Sep.	2,239	,160	1,913	2,564
		mit	gleich	Konflikt	2,598	,162	2,269	2,927
				ver.Sep.	3,392	,155	3,077	3,707
				hor.Sep.	2,364	,136	2,087	2,641
			ungleich	Konflikt	2,159	,136	1,882	2,436
				ver.Sep.	3,017	,147	2,718	3,316
				hor.Sep.	2,199	,136	1,923	2,474
	Fluglotsen	ohne	gleich	Konflikt	2,743	,192	2,353	3,133
				ver.Sep.	4,229	,137	3,952	4,507
				hor.Sep.	2,590	,149	2,287	2,894
			ungleich	Konflikt	2,336	,154	2,024	2,648
				ver.Sep.	3,632	,154	3,319	3,945
				hor.Sep.	2,722	,177	2,363	3,082
		mit	gleich	Konflikt	2,690	,179	2,326	3,054
				ver.Sep.	3,725	,171	3,377	4,072
				hor.Sep.	2,771	,151	2,465	3,077
			ungleich	Konflikt	2,502	,151	2,196	2,808
				ver.Sep.	3,361	,163	3,030	3,692
				hor.Sep.	2,674	,150	2,369	2,978

Maß	Probanden- gruppe	auditive Zusatz- aufgabe	vertikale Bewegung	Dimension	Mittel- wert	Standard- fehler	95%- Konfidenzintervall	
							Unter- grenze	Ober- grenze
Urteils- leistung	Laien ohne Training	ohne	gleich	Konflikt	,802	,035	,732	,872
				ver.Sep.	,938	,013	,912	,963
				hor.Sep.	,595	,060	,474	,717
			ungleich	Konflikt	,597	,040	,516	,678
				ver.Sep.	,859	,028	,802	,917
				hor.Sep.	,630	,057	,514	,746
		mit	gleich	Konflikt	,735	,033	,668	,803
				ver.Sep.	,905	,022	,859	,950
				hor.Sep.	,520	,062	,395	,646
			ungleich	Konflikt	,528	,040	,447	,610
				ver.Sep.	,813	,028	,755	,870
				hor.Sep.	,603	,055	,491	,715
	Laien mit Training	ohne	gleich	Konflikt	,871	,029	,811	,931
				ver.Sep.	,958	,011	,936	,980
				hor.Sep.	,552	,051	,448	,655
			ungleich	Konflikt	,648	,034	,579	,718
				ver.Sep.	,870	,024	,821	,920
				hor.Sep.	,633	,049	,534	,732
		mit	gleich	Konflikt	,831	,028	,773	,889
				ver.Sep.	,910	,019	,872	,949
				hor.Sep.	,458	,053	,351	,565
			ungleich	Konflikt	,622	,034	,552	,691
				ver.Sep.	,793	,024	,744	,842
				hor.Sep.	,555	,047	,459	,650

Maß	Probanden- gruppe	auditive Zusatz- aufgabe	vertikale Bewegung	Dimension	Mittel- wert	Standard- fehler	95%- Konfidenzintervall	
							Unter- grenze	Ober- grenze
Urteils- leistung	Piloten	ohne	gleich	Konflikt	,820	,029	,760	,880
				ver.Sep.	,968	,011	,946	,990
				hor.Sep.	,563	,051	,459	,666
			ungleich	Konflikt	,651	,034	,582	,721
				ver.Sep.	,835	,024	,786	,884
				hor.Sep.	,541	,049	,442	,640
		mit	gleich	Konflikt	,794	,028	,737	,852
				ver.Sep.	,908	,019	,869	,947
				hor.Sep.	,420	,053	,313	,528
			ungleich	Konflikt	,552	,034	,483	,622
				ver.Sep.	,795	,024	,747	,844
				hor.Sep.	,480	,047	,384	,575
	Fluglotsen	ohne	gleich	Konflikt	,822	,033	,756	,888
				ver.Sep.	,996	,012	,972	1,020
				hor.Sep.	,639	,056	,524	,753
			ungleich	Konflikt	,596	,038	,519	,673
				ver.Sep.	,861	,027	,807	,915
				hor.Sep.	,656	,054	,546	,765
		mit	gleich	Konflikt	,765	,031	,701	,829
				ver.Sep.	,983	,021	,941	1,026
				hor.Sep.	,644	,058	,526	,763
			ungleich	Konflikt	,544	,038	,467	,621
				ver.Sep.	,865	,027	,811	,919
				hor.Sep.	,642	,052	,536	,747

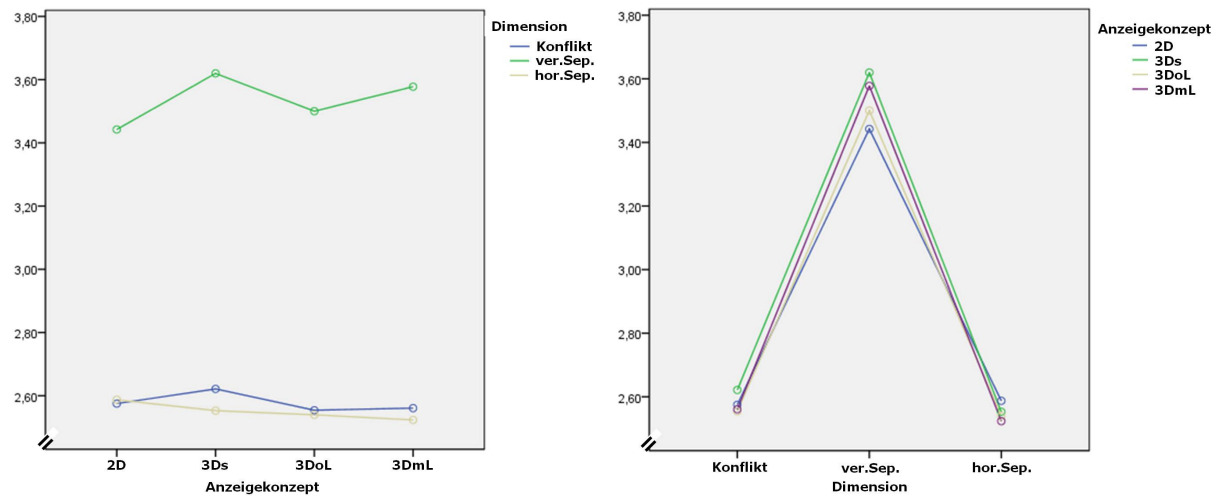


Abbildung 7-12: Interaktion (Beobachtungszeit): Anzeigeformat und Dimension

Tabelle 7-23: Deskriptive Statistik: Interaktion zwischen Anzeigekonzept und Dimension

Maß	Anzeige- konzept	Dimension	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	2D	Konflikt	2,575	,081	2,410	2,741
		ver.Sep.	3,442	,075	3,291	3,594
		hor.Sep	2,587	,084	2,417	2,758
	3Ds	Konflikt	2,622	,090	2,440	2,803
		ver.Sep.	3,620	,079	3,460	3,780
		hor.Sep	2,553	,077	2,396	2,709
	3DoL	Konflikt	2,554	,078	2,397	2,711
		ver.Sep.	3,500	,077	3,343	3,657
		hor.Sep	2,540	,081	2,375	2,705
	3DmL	Konflikt	2,561	,076	2,407	2,714
		ver.Sep.	3,578	,067	3,441	3,714
		hor.Sep	2,523	,076	2,369	2,677
Urteilsleistung	2D	Konflikt	,709	,016	,677	,740
		ver.Sep.	,886	,010	,866	,905
		hor.Sep	,615	,030	,554	,675
	3Ds	Konflikt	,695	,014	,666	,723
		ver.Sep.	,898	,010	,878	,917
		hor.Sep	,565	,026	,511	,618
	3DoL	Konflikt	,693	,015	,663	,723
		ver.Sep.	,881	,009	,862	,899
		hor.Sep	,552	,027	,498	,606
	3DmL	Konflikt	,699	,018	,663	,735
		ver.Sep.	,901	,009	,883	,918
		hor.Sep	,551	,029	,491	,610

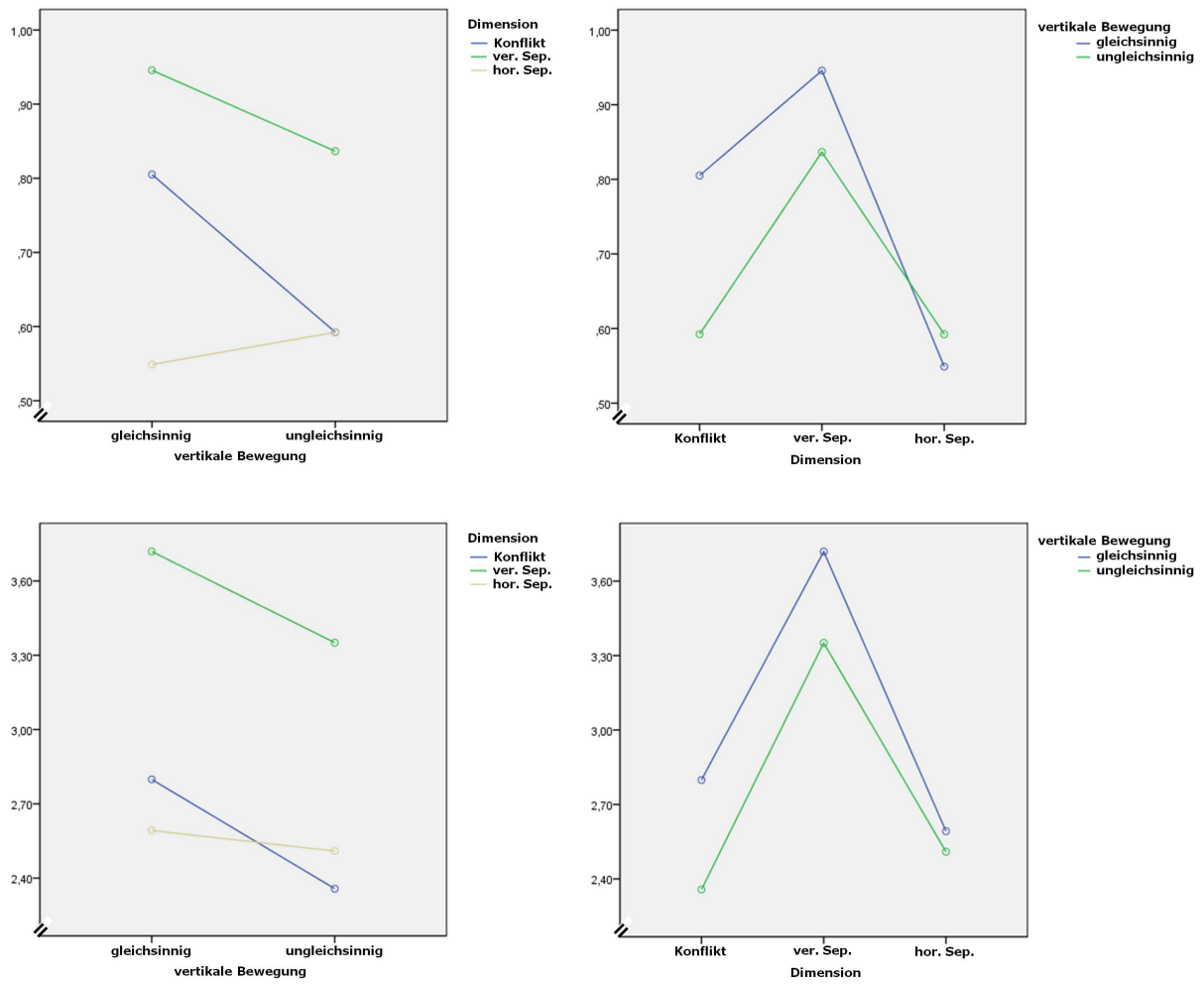


Abbildung 7-13: Interaktion (Urteilsleistung oben; Beobachtungszeit unten): vertikale Bewegung und Dimension

Tabelle 7-24: Deskriptive Statistik: Interaktion zwischen vertikale Bewegung und Dimension

Maß	vertikale Bewegung	Dimension	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Beobachtungszeit	gleich	Konflikt	2,799	,087	2,623	2,974
		ver.Sep.	3,719	,069	3,578	3,860
		hor.Sep.	2,592	,069	2,453	2,732
	ungleich	Konflikt	2,357	,071	2,214	2,501
		ver.Sep.	3,351	,068	3,214	3,488
		hor.Sep.	2,509	,075	2,358	2,661
Urteilsleistung	gleich	Konflikt	,805	,015	,775	,835
		ver.Sep.	,946	,007	,931	,960
		hor.Sep.	,549	,027	,494	,604
	ungleich	Konflikt	,592	,017	,558	,627
		ver.Sep.	,837	,011	,813	,860
		hor.Sep.	,592	,024	,543	,642

Ergebnisse der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalysen mit Messwiederholung. Innersubjektfaktor (Stufenanzahl): Anzeige-konzept (4). Zwischensubjektfaktor: Ansichtswinkel (2). Abhängige Variable: Urteilsleistung und Beurteilung der verfügbaren Beobachtungszeit bezüglich der Einschätzung von vertikalen Separationsfällen mit 90° Konvergenzwinkel sowie auditiver Zusatzaufgabe über alle Probandengruppen.

Tabelle 7-25: Mauchly-Test auf Spärizität

Innersub- jekteffekt	Maß	Mauchly-W	Approx. Chi- Quadrat	df	Sig.	Greenhouse- Geisser
Anzeige- konzept	Urteilsleistung	,792	41,997	5	,000	,860

Tabelle 7-26: Signifikanztests

Innersubjekteffekt

Quelle	Maß	Quadrat- summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
Anzeige- konzept * Ansichts- winkel	Urteilsleistung (korrigiert)	,162	2,579	,063	3,200	,030	,017

Zwischensubjekteffekt - kein statistisch bedeutsamer Effekt

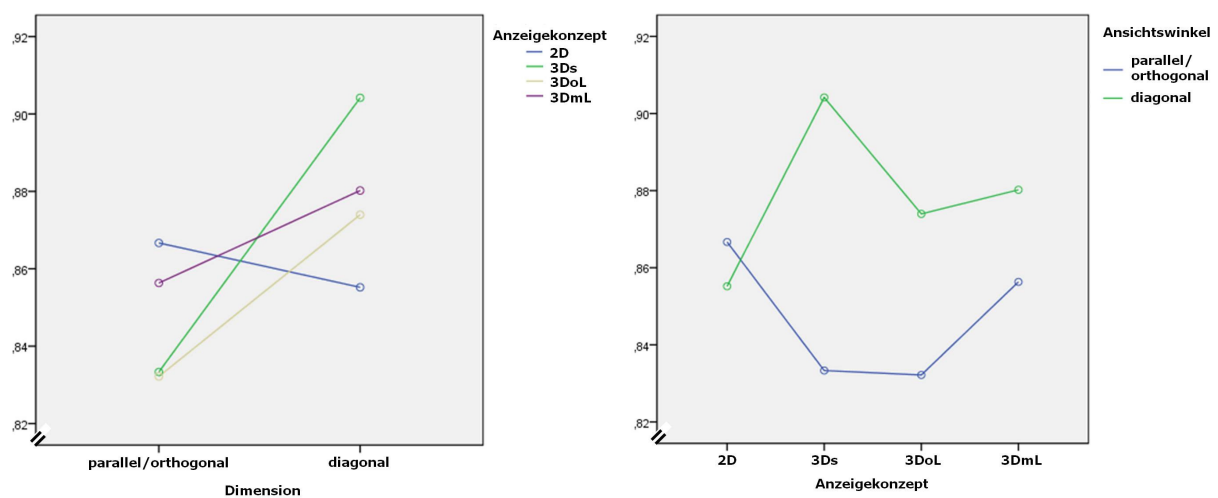


Abbildung 7-14: Interaktion (Urteilsleistung): Anzeige-konzept und Ansichtswinkel

Tabelle 7-27: Deskriptive Statistik: Interaktion zwischen Anzeigekonzept und Ansichtswinkel

Maß	Ansichts- winkel	Anzeige- konzept	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Urteilsleistung	parallel bzw. orthogonal	2D	,867	,020	,827	,907
		3Ds	,833	,021	,792	,875
		3DoL	,832	,021	,791	,873
		3DmL	,856	,020	,816	,896
	diagonal	2D	,855	,019	,817	,893
		3Ds	,904	,020	,865	,944
		3DoL	,874	,020	,835	,913
		3DmL	,880	,019	,842	,918
Beobacht- ungszeit	parallel bzw. orthogonal	2D	3,138	,100	2,940	3,336
		3Ds	3,109	,093	2,925	3,293
		3DoL	3,184	,096	2,995	3,373
		3DmL	3,259	,089	3,084	3,434
	diagonal	2D	3,241	,095	3,053	3,430
		3Ds	3,479	,089	3,304	3,654
		3DoL	3,375	,091	3,195	3,555
		3DmL	3,432	,084	3,266	3,599

7.4 Personmerkmalsanalysen

Tabelle 7-28: Parameter der zROC-Koordinatenregression jeder Probandengruppe mit der 2D Anzeige ($z(H)=a+b*z(F)$) sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe und die Güte der Regressions-schätzung (R^2) sowie der Diskriminationsleistung (AUC) und deren Standardabweichung (SD)

Bedingung	Gruppe	b	a	R^2	AUC	SD
2D 90° ohne Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,4978	1,9205	0.9885	0.840	0.020
	Laien mit Training	1,4035	2,0035	0.9836	0.863	0.019
	Piloten	1,3703	1,8116	0.9814	0.851	0.019
	Fluglotsen	1,047	1,7587	0.9893	0.873	0.017
2D 90° mit Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,2045	1,1698	0.9561	0.772	0.024
	Laien mit Training	1,3969	1,4099	0.9900	0.781	0.024
	Piloten	1,346	1,0862	0.9942	0.735	0.026
	Fluglotsen	1,1012	1,5597	0.9698	0.834	0.021

Tabelle 7-29: Parameter der zROC-Koordinatenregression jeder Probandengruppe mit der 3Ds Anzeige ($z(H)=a+b*z(F)$) sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe und die Güte der Regressions-schätzung (R^2) sowie der Diskriminationsleistung (AUC) und deren Standardabweichung (SD)

Bedingung	Gruppe	b	a	R^2	AUC	SD
3Ds 90° ohne Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,7017	2,1419	0.9593	0.845	0.020
	Laien mit Training	1,685	1,9481	0.9879	0.829	0.021
	Piloten	1,1932	1,8505	0.9796	0.847	0.020
	Fluglotsen	1,4016	1,9189	0.9904	0.855	0.019
3Ds 90° mit Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,2315	1,2011	0.9816	0.757	0.024
	Laien mit Training	1,7998	1,4167	0.9973	0.747	0.025
	Piloten	1,1000	1,0952	0.9605	0.732	0.026
	Fluglotsen	1,3923	1,6019	0.9958	0.808	0.023

Tabelle 7-30: Parameter der zROC-Koordinatenregression jeder Probandengruppe mit der 3DoL Anzeige ($z(H)=a+b*z(F)$) sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe und die Güte der Regressions-schätzung (R^2) sowie der Diskriminationsleistung (AUC) und deren Standardabweichung (SD)

Bedingung	Gruppe	b	a	R^2	AUC	SD
3DoL 90° ohne Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,7073	1,9805	0.9960	0.836	0.020
	Laien mit Training	1,3750	1,7222	0.9957	0.832	0.020
	Piloten	2,7155	3,7267	0.6997	0.849	0.020
	Fluglotsen	1,5653	1,8957	0.9961	0.836	0.021
3DoL 90° mit Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,4774	1,1935	0.9756	0.725	0.026
	Laien mit Training	1,5081	1,3368	0.9962	0.761	0.025
	Piloten	2,8407	3,1340	0.6692	0.777	0.024
	Fluglotsen	1,3726	1,5907	0.9818	0.809	0.023

Tabelle 7-31: Parameter der zROC-Koordinatenregression jeder Probandengruppe mit der 3DmL Anzeige ($z(H)=a+b*z(F)$) sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe und die Güte der Regressions-schätzung (R^2) sowie der Diskriminationsleistung (AUC) und deren Standardabweichung (SD)

Bedingung	Gruppe	b	a	R^2	AUC	SD
3DmL 90° ohne Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,6045	1,8516	0.9921	0.822	0.022
	Laien mit Training	1,6032	1,9758	0.9922	0.846	0.020
	Piloten	1,3982	2,0851	0.9933	0.879	0.018
	Fluglotsen	1,3364	1,9262	0.9966	0.860	0.019
3DmL 90° mit Zusatzaufgabe	Laien ohne Training	1,2962	1,1927	0.9907	0.761	0.024
	Laien mit Training	1,4128	1,3073	0.9963	0.765	0.024
	Piloten	1,3637	1,1635	0.9650	0.727	0.026
	Fluglotsen	1,6080	1,7967	0.9950	0.815	0.022

Tabelle 7-32: ROC-Koordinaten der untrainierten Laien sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe (zAG) in Verbindung mit 90° Konvergenzfällen

Laien ohne Training	wahrscheinlich nicht		eher nicht		eher ja		wahrscheinlich ja		ganz sicher ja	
2D 90° ohne zAG	0,982	0,516	0,921	0,358	0,772	0,247	0,632	0,163	0,154	0,021
2D 90° mit zAG	0,906	0,613	0,828	0,403	0,688	0,257	0,495	0,115	0,094	0,031
3Ds 90° ohne zAG	0,991	0,482	0,899	0,321	0,750	0,244	0,566	0,145	0,246	0,036
3Ds 90° mit zAG	0,958	0,600	0,802	0,426	0,635	0,284	0,438	0,142	0,089	0,016
3DoL 90° ohne zAG	0,991	0,583	0,922	0,396	0,788	0,240	0,545	0,125	0,152	0,042
3DoL 90° mit zAG	0,984	0,672	0,842	0,500	0,647	0,328	0,437	0,198	0,063	0,026
3DmL 90° ohne zAG	0,978	0,527	0,904	0,348	0,772	0,261	0,491	0,141	0,127	0,027
3DmL 90° mit zAG	0,942	0,607	0,831	0,455	0,693	0,304	0,466	0,131	0,079	0,026

Tabelle 7-33: ROC-Koordinaten der trainierten Laien sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe (zAG) in Verbindung mit 90° Konvergenzfällen

Laien mit Training	wahrscheinlich nicht		eher nicht		eher ja		wahrscheinlich ja		ganz sicher ja	
2D 90° ohne zAG	0,952	0,443	0,895	0,260	0,798	0,188	0,680	0,141	0,250	0,031
2D 90° mit zAG	0,964	0,573	0,839	0,406	0,698	0,271	0,547	0,193	0,198	0,047
3Ds 90° ohne zAG	0,978	0,516	0,864	0,286	0,759	0,224	0,645	0,203	0,276	0,063
3Ds 90° mit zAG	0,969	0,586	0,813	0,387	0,682	0,314	0,578	0,251	0,198	0,099
3DoL 90° ohne zAG	0,969	0,526	0,882	0,344	0,776	0,260	0,667	0,182	0,272	0,042
3DoL 90° mit zAG	0,969	0,620	0,865	0,443	0,708	0,318	0,542	0,214	0,229	0,078
3DmL 90° ohne zAG	0,982	0,542	0,904	0,318	0,768	0,240	0,654	0,146	0,224	0,047
3DmL 90° mit zAG	0,969	0,635	0,865	0,448	0,734	0,328	0,620	0,250	0,245	0,073

Tabelle 7-34: ROC-Koordinaten der Piloten sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe (zAG) in Verbindung mit 90° Konvergenzfällen

Piloten	wahrscheinlich nicht		eher nicht		eher ja		wahrscheinlich ja		ganz sicher ja	
2D 90° ohne zAG	0,978	0,570	0,871	0,339	0,793	0,231	0,698	0,129	0,138	0,022
2D 90° mit zAG	0,949	0,658	0,791	0,428	0,689	0,348	0,582	0,225	0,102	0,043
3Ds 90° ohne zAG	0,991	0,604	0,922	0,364	0,845	0,262	0,728	0,203	0,142	0,005
3Ds 90° mit zAG	0,964	0,640	0,837	0,478	0,745	0,387	0,571	0,280	0,097	0,011
3DoL 90° ohne zAG	1,000	0,594	0,957	0,428	0,875	0,283	0,703	0,187	0,134	0,016
3DoL 90° mit zAG	1,000	0,656	0,882	0,435	0,769	0,349	0,595	0,237	0,128	0,027
3DmL 90° ohne zAG	0,982	0,536	0,916	0,302	0,846	0,203	0,700	0,120	0,154	0,016
3DmL 90° mit zAG	0,969	0,617	0,816	0,447	0,745	0,388	0,551	0,282	0,092	0,027

Tabelle 7-35: ROC-Koordinaten der Fluglotsen sowohl mit als auch ohne Zusatzaufgabe (zAG) in Verbindung mit 90° Konvergenzfällen

Fluglotsen	wahrscheinlich nicht		eher nicht		eher ja		wahrscheinlich ja		ganz sicher ja	
2D 90° ohne zAG	0,945	0,399	0,847	0,264	0,774	0,174	0,677	0,118	0,340	0,017
2D 90° mit zAG	0,906	0,466	0,793	0,222	0,724	0,170	0,650	0,125	0,251	0,028
3Ds 90° ohne zAG	0,971	0,460	0,863	0,299	0,788	0,218	0,667	0,155	0,288	0,034
3Ds 90° mit zAG	0,925	0,464	0,804	0,285	0,719	0,218	0,578	0,168	0,221	0,045
3DoL 90° ohne zAG	0,966	0,469	0,839	0,291	0,754	0,235	0,657	0,162	0,254	0,050
3DoL 90° mit zAG	0,936	0,511	0,773	0,267	0,709	0,193	0,626	0,165	0,197	0,045
3DmL 90° ohne zAG	0,958	0,448	0,863	0,264	0,796	0,190	0,708	0,161	0,304	0,034
3DmL 90° mit zAG	0,960	0,480	0,765	0,274	0,685	0,201	0,590	0,156	0,220	0,056

Tabelle 7-36: Ergebnisse der Erhebung von Einstellungs- und Persönlichkeitsmerkmalen. Die Ergebnisse zeigen die jeweiligen Mittelwerte mit den zugehörigen Standardfehlern in Klammern

	Kriterium	Fluglotsen	Piloten	trainierte Laien	untrainierte Laien
Einstellungsmerkmal	Technikorientierung	3,83 (0,28)	3,91 (0,11)	3,64 (0,16)	3,50 (0,16)
	Geschwindigkeitsorientierung	2,33 (0,12)	2,21 (0,09)	2,45 (0,09)	2,49 (0,10)
	Genauigkeitsorientierung	2,73 (0,06)	2,58 (0,06)	2,59 (0,07)	2,54 (0,12)
	Handlungsorientierung	2,91 (0,12)	2,93 (0,11)	2,95 (0,12)	2,88 (0,13)
Persönlichkeitsmerkmale	Hoffnung auf Erfolg	2,17 (0,18)	2,25 (0,20)	1,75 (0,09)	1,83 (0,11)
	Furcht vor Misserfolg	3,42 (0,19)	3,38 (0,27)	3,73 (0,25)	3,58 (0,23)
	Extraversion	3,33 (0,24)	3,38 (0,23)	3,41 (0,26)	3,46 (0,23)
	Verträglichkeit	3,46 (0,15)	3,83 (0,25)	3,77 (0,17)	3,67 (0,17)
	Gewissenhaftigkeit	2,83 (0,23)	3,50 (0,25)	3,95 (0,10)	4,04 (0,17)
	Neurotizismus	3,79 (0,26)	3,46 (0,33)	3,32 (0,16)	3,71 (0,29)
	Offenheit	8,75 (0,46)	9,33 (0,62)	8,64 (0,64)	8,17 (0,58)

Tabelle 7-37: Ergebnisse der Erhebung kognitiver Leistungsaspekte. Die Ergebnisse zeigen die jeweiligen Mittelwerte mit den zugehörigen Standardfehlern in Klammern

kognitiver Leistungsaspekt	Testverfahren	untrainierte Laien	trainierte Laien
räumliche Orientierung	Spatial Orientation Test	160,5 (4,7)	149,4 (10,4)
geteilte Aufmerksamkeit	Randomized Number Generation	0,283 (0,011)	0,277 (0,009)
selektive Aufmerksamkeit	d2-R Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest	170,8 (8,4)	176,7 (11,7)
kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit	Trail Making Test, Teil A	20, 7 (0,9)	22,0 (1,4)
zentrale Exekutive	Trail Making Test, Teil B	48,2 (2,5)	48,2 (2,7)
phonologische Schleife	Backward Digit Span Test	6,8 (0,5)	6,8 (0,5)
visuell-räumlicher Notizblock (Positionsgedächtnis)	Unmittelbare Blockspanne des Corsi Block Tapping Test	6,1 (0,2)	5,7 (0,3)
visuell-räumlicher Notizblock (Formgedächtnis)	Visual Pattern Test	17, 7 (1,0)	18,2 (1,3)

7.5 Anzeigemerkmalsanalysen

Ergebnisse der einfaktoriellen Kovarianzanalysen für jede Probandengruppe. Fester Faktor (Stufenanzahl): Anzeige-konzept (4). Abhängige Variable: ipsativierte Urteilsleistungswerte der Szenarien mit 90° Konvergenz-winkel und auditiver Zusatzaufgabe. Kovariate: Leistung in der auditiven Zusatzaufgabe (zAG.Leist).

Signifikanztests untrainierte Laien und Piloten: keine statistisch bedeutsamen Effekte

Tabelle 7-38: Signifikanztest - trainierte Laien

Quelle	Quadrat-summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
zAG.Leist	,004	1	,004	,382	,537	,001
Anzeige	,032	3	,011	1,034	,378	,011
Dimension	,000	2	,000	,001	,999	,000
Anzeigekonzept * Dimension	,209	6	,035	3,405	,003	,069
Fehler	2,811	275	,010			

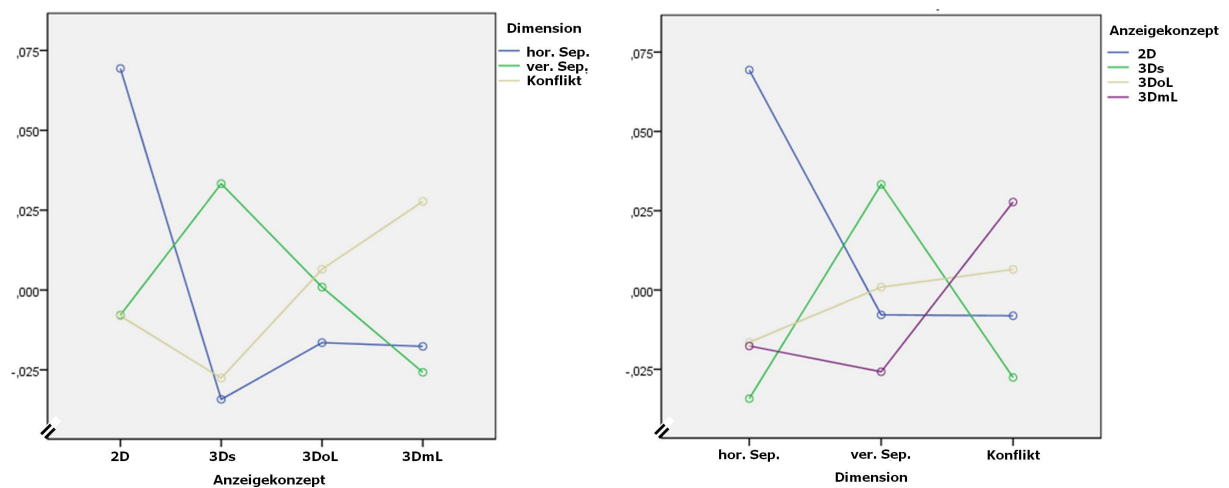


Abbildung 7-15: Interaktion (Urteilsleistung): Anzeigekonzept und Dimension - trainierte Laien

Tabelle 7-39: Deskriptive Statistik - trainierte Laien

Anzeige	Dimension	Mittelwert	Standardabweichung	N
2D	horizontale Separation	,0693	,10302	24
	vertikale Separation	-,0085	,09674	24
	Konflikt	-,0090	,09643	24
	Gesamt	,0173	,10418	72
3Ds	horizontale Separation	-,0345	,11907	24
	vertikale Separation	,0326	,06486	24
	Konflikt	-,0253	,12189	24
	Gesamt	-,0091	,10800	72
3DoL	horizontale Separation	-,0163	,11143	24
	vertikale Separation	,0013	,07582	24
	Konflikt	,0066	,11982	24
	Gesamt	-,0028	,10311	72
3DmL	horizontale Separation	-,0185	,09660	24
	vertikale Separation	-,0251	,08999	24
	Konflikt	,0277	,09953	24
	Gesamt	-,0053	,09703	72
Gesamt	horizontale Separation	,0000	,11372	96
	vertikale Separation	,0001	,08417	96
	Konflikt	,0000	,11004	96
	Gesamt	,0000	,10312	288

Tabelle 7-40: Signifikanztest - Fluglotsen

Quelle	Quadrat- summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	η^2
zAG.Leist	,298	1	,298	23,030	,000	,077
Anzeigekonzept	,024	3	,008	,618	,604	,007
Dimension	,004	2	,002	,166	,847	,001
Anzeigekonzept * Dimension	,188	6	,031	2,425	,027	,050
Fehler	3,559	275	,013			

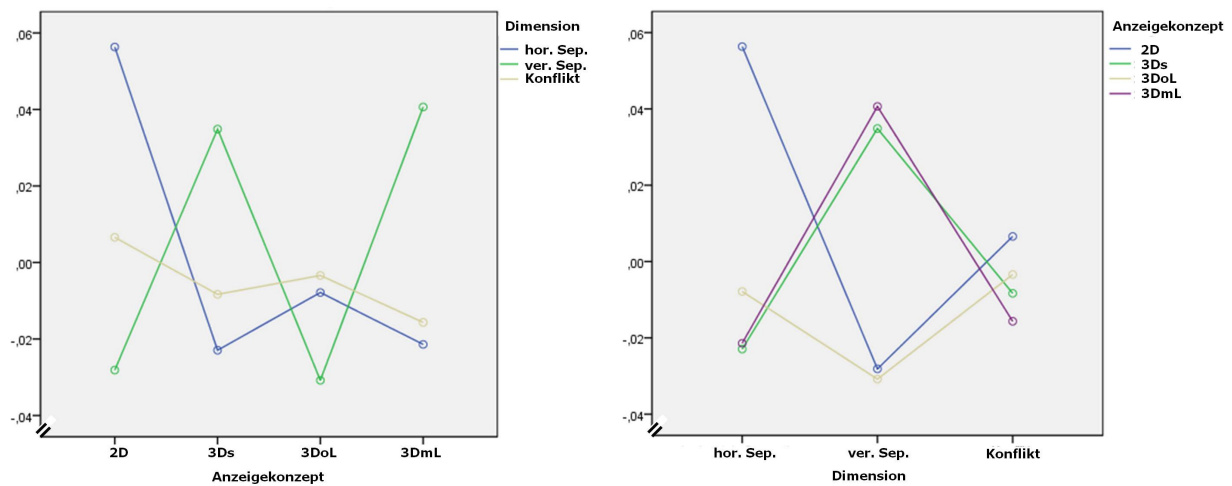
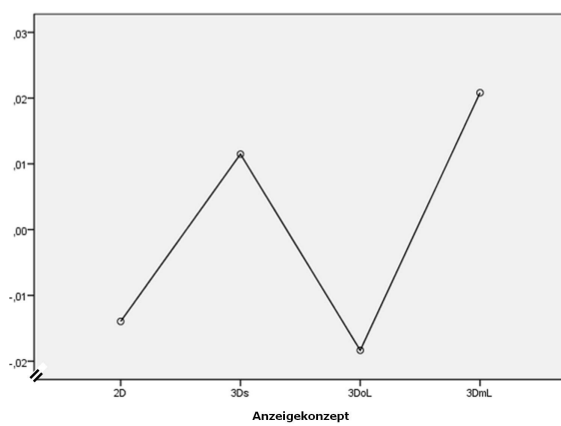


Abbildung 7-16: Interaktion (Urteilsleistung): Anzeigeformat und Dimension - Fluglotsen

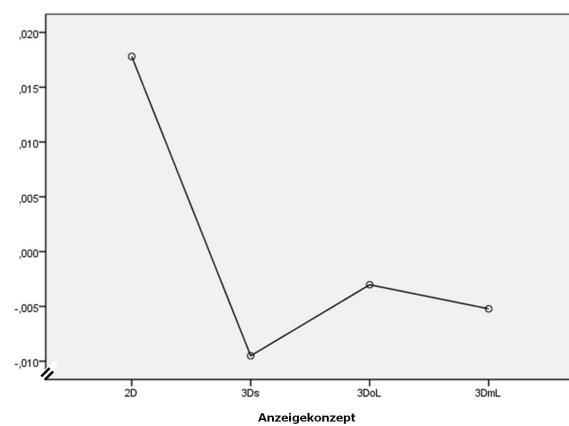
Tabelle 7-41: Deskriptive Statistik - Fluglotsen

Anzeige	Dimension	Mittelwert	Standardabweichung	N
2D	horizontale Separation	,0553	,11936	24
	vertikale Separation	-,0429	,15410	24
	Konflikt	,0163	,06939	24
	Gesamt	,0095	,12458	72
3Ds	horizontale Separation	-,0178	,13967	24
	vertikale Separation	,0400	,16068	24
	Konflikt	-,0026	,06213	24
	Gesamt	,0065	,12861	72
3DoL	horizontale Separation	-,0074	,12227	24
	vertikale Separation	-,0475	,14304	24
	Konflikt	-,0023	,08044	24
	Gesamt	-,0191	,11824	72
3DmL	horizontale Separation	-,0303	,10380	24
	vertikale Separation	,0505	,12304	24
	Konflikt	-,0113	,08882	24
	Gesamt	,0030	,11025	72

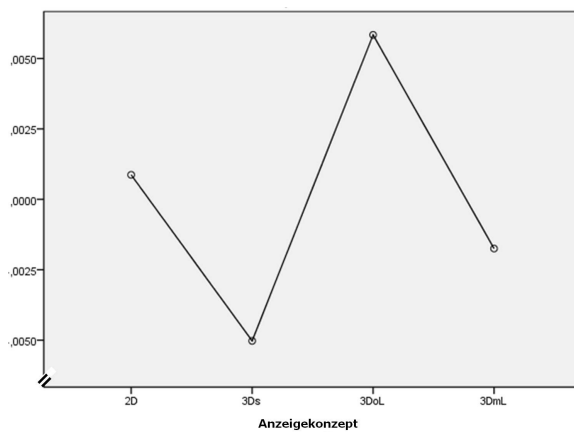
Anzeige	Dimension	Mittelwert	Standardabweichung	N
Gesamt	horizontale Separation	-,0001	,12449	96
	vertikale Separation	,0000	,15067	96
	Konflikt	,0000	,07536	96
	Gesamt	,0000	,12051	288



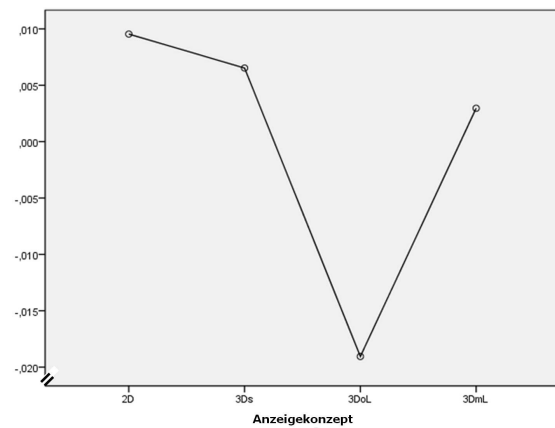
untrainierte Laien



trainierte Laien



Piloten



Fluglotsen

Abbildung 7-17: Profildiagramme (Urteilsleistung) - 90° Konvergenzfälle mit auditiver Zusatzaufgabe

8 Literatur

- Alm, T. & Lif, P. (2007). The Value of Spatial Cues in 3D Air Traffic Displays. In: *The International Journal of Aviation Psychology*, 17 (2), 109-129.
- Amelang, M. & Zielinski, W. (2004). *Psychologische Diagnostik und Intervention* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Andersen, G. & Kramer, A. F. (1993). Limits of focused attention in three-dimensional space. In: *Perception & Psychophysics*, 53(6), 658-667.
- Anderson, J. R. (2001). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Averty, P. & Lezaud, P. (2009). Effects of Aircraft Trajectories Geometrical Features upon Air Traffic Controllers' Conflict Judgments. In: *Digital Avionics Systems Conference 2009. DASC '09. IEEE/AIAA 28th*.
- Averty, P. (2005). Conflict perception by ATCS admits doubt but not inconsistency. In: *Proceedings of the 6th Air Traffic Management Research & Development Seminar, Baltimore, USA*.
- Averty, P., Guittet, K., & Lezaud, P. (2008). An ordered logit model of air traffic controllers' conflict risk judgment. In: *Air Traffic Control Quarterly*, 16, 101-126.
- Azuma, R., Daily, M. & Krozel, J. (1996). Advanced Human-Computer Interfaces for Air Traffic Management and Simulation. In: *Proceedings of 1996 AIAA Flight Simulation Technologies Conference*, 656 - 666.
- Azuma, R., Neely, H., Daily, M. & Correa, M. (1999). Visualization of Conflicts Resolution in a "Free Flight" Scenario. In: *Proceedings of IEEE Visualization '99*, 433-436.
- Baddeley, A. (2003). Working Memory: Looking Back and Looking Forward. In: *Nature Reviews – Neuroscience*, 4, 829-839.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. In: *Automatica*, 19(6), 775-779.
- Barfield, W. (1998). Effect of computer graphics enhancements on spatial performance using perspective displays. In: *Displays*, 19, 127-132.
- Berch, D. B., Krikorian, R. & Huha, E. M. (1998). The Corsi Block-Tapping Task: Methodological and Theoretical Considerations. In: *Brain and Cognition*, 38(3), 317-338.

BFU (2004). *Untersuchungsbericht AX001-1-2/02*. Braunschweig: Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung. Abgerufen am 16.09.2011. Online unter:

http://www.bfu-web.de/nn_41670/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/2002/Bericht__02__AX001-1-2,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Bericht_02_AX001-1-2.pdf

BFU (2008). *Jahresbericht 2008: Unfälle und Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge*. Abgerufen am 03.10.2011. Online unter:

http://www.bfu-web.de/cln_030/nn_223976/DE/Publikationen/Statistiken/Jahresberichte/BFU_20Jahresbericht_202008,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BFU%20Jahresbericht%202008.pdf

Bisseret, A. (1981). Application of signal detection theory to decision making in supervisory control: The effect of the operator's experience. *Ergonomics*, 24, 81–94.

Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation (4. Aufl.)*. Heidelberg: Springer.

Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler (6. Aufl.)*. Berlin: Springer.

Bortz, J., Lienert, G. A. & Böhnke, K. (2008). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik (3. Aufl.)*. Heidelberg, Springer Medizin Verlag.

Bourgois, M., Cooper, M., Duong, V., Hjalmarsson, J., Lange, M. & Ynnerman, A. (2005). Interactive and Immersive 3D Visualization for ATC. In: *6th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar. Baltimore, Maryland, USA*.

Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L. & Liepmann, D. (2010). *Test d2-Revision. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest*. Göttingen: Hogrefe.

BR-Online (2010). *Fluglotsen dringend gesucht*. BR Bayerisches Fernsehen, Rundschau. Veröffentlicht am 27.12.2010. Abgerufen am 16.07.2011. Online unter:

<http://www.br-online.de/bayerisches-fernsehen/rundschau/luftverkehr-fluglotse-flugsicherheit-ID1293212104480.xml>

Brown, M. A. & Slater, M. (1997). Some Experiences with Three-Dimensional Display Design: An Air Traffic Control Visualisation. In: *Proceedings of 6th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication RO-MAN '97*, 296–301.

Brown, M. A. (1994). *Displays for Air Traffic Control: 2D, 3D and VR – A Preliminary Investigation*. London: QMW Computer Science Technical Report No. 675.

Brunswik, E. (1955). Representative design and probabilistic theory. In: *Psychological Review*, 62, 236–242.

- Bubb, H. & Sträter, O. (2006). Grundlagen der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen. In: B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie*. Themenbereich D. Praxisgebiete. Serie 3 Wirtschafts-Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 2 Ingenieurpsychologie (S. 143-180). Göttingen: Hogrefe.
- Challen, R. & Köhne, F. (2008). Improved Airspace Efficiency Using Integrated Airport Management Tools. In: *ICNS Conference, 2008*. Abgerufen am 11.10.2011. Online verfügbar unter:
http://i-cns.org/media/2008/05/presentations/Session_H_4-D_Trajectory_Operations_and_Automation/07-Challen.pdf
- Cohen, J. (1992): A power primer. In: *Psychological Bulletin*, 112, 155-159.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1987). *Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics (Technical Report No. 403)*. BBN Laboratories, Cambridge, MA. Centre for the Study of Reading, University of Illinois. January, 1987.
- Cooper, M. D., Fridlund, A., Andel, M., Bojan, C. & Hardy, J-L. (2010). Educational benefits of 3D displays in early controller training. In: *27th International Congress of the Aeronautical Sciences. ICAS 2010*. Abgerufen am 23.08.2012. Online unter:
http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/Innovative_Studies/grants/ICAS2010%20Matt&al%20504.pdf
- Crvarich, G. B. (1995). *An Exploration of Techniques to Improve Relative Distance Judgments within an Exocentric Display*. University of Washington: Unveröffentlichte Masterarbeit. Abgerufen am 31.10.2011. Online verfügbar unter:
<http://www.hitl.washington.edu/publications/crvarich/introduction.html>
- D'Arcy, J-F. & Rocco, P. S. (2001). *Air Traffic Control Specialist Decision Making and Strategic Planning – A Field Survey. Technical Report DOT/FAA/CT-TN 01/05*. Springfield, Virginia, USA: National Technical Information Service.
- Dang, N. T. (2005). *A Stereoscopic 3D Visualisation Environment for Air Traffic Control – an Analysis of Interaction and a Proposal of new Interaction Techniques*. Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris: Unveröffentlichte Dissertation.
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern Span: a tool for unwelding visuo-spatial memory. In: *Neuropsychologia*, 37, 1189-1199.
- DFS (2002). *TE im Fokus: Informationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung der DFS Deutschen Flugsicherung GmbH (Ausgabe 01/02)*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.

DFS (2012). *Flugspuren*. Abgerufen am 30.07.2012. Online unter:

<http://www.dfs.de/>

EATMP Human Resources Team. (2001b). *Guidelines for Selection Procedures and Tests for Ab Initio Trainee Controllers (Revised)*. HRS/MSP-002-GUI-01 Ed. 2.0. Brussels: EUROCONTROL.

Eichinger, A. (2011). *Bewertung von Benutzerschnittstellen für Cockpits hochagiler Flugzeuge: Entwicklung und Implementierung eines Evaluationskonzeptes*. Saarbrücken: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.

Ellis, S.R., McGreevy, M.W. & Hitchcock, R.J. (1987). Perspective traffic displays format and airplane pilot traffic avoidance. In: *Human Factors*, 29, 371-382.

Endsley, M. R. (1995b). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. In: *Human Factors*, 37(1), 32-64.

Esgate, A. & Groome, D. (2005). *An Introduction to Applied Cognitive Psychology*. New York: Psychology Press, Taylor & Francis Group.

Eurocontrol (2011). *EUROCONTROL Long-Term Forecast: IFR Flight Movements 2010-2030*. Abgerufen am 16.07.2011. Online unter:

<http://www.eurocontrol.int/statfor/gallery/content/public/forecasts/Doc415-LTF10-Report-Vol1.pdf>

Evans, F. J. (1978). Monitoring Attention Deployment by Random Number Generation: An Index to Measure Subjective Randomness. In: *Bulletin of the Psychonomic Society*, 12(1), 35-38.

Eyal, R. & Tendick, F. (2001). Spatial Ability and Learning the Use of an Angled Laparoscope in a Virtual Environment. In: J. D. Westwood et al (Eds.). *Medicine Meets Virtual Reality*. IOS Press.

Gillam, B. J. (1995). Matching needed for stereopsis. *Nature*, 373, 202-203.

Goldstein, B. (2008). *Wahrnehmungspsychologie (7. Aufl.)*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Göters, K.-M. (2004). *Die psychologische Eignungsauswahl von Piloten und Fluglotsen: Verfahren, Validierung und Nutzen*. Vortrag in einer Vortragsreihe des DGLR (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt / Hamburg am 29.01.2004, S. 15, Abgerufen am 15.07.2011. Online unter:

http://www.mp.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dglr/hh/text_2004_01_29_Piloten.pdf

Gruber, M. (2008). *Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten des 3DW und des EST bei der Selektion und Leistungsüberprüfung von Fluglotsen und Linienpiloten*. Universität Wien: Unveröffentlichte Diplomarbeit.

- Hamborg, K. C. & Gediga, G. (2006). Methoden und Modelle für die Gestaltung gebrauchstauglicher Software. In: B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie*. Themenbereich D. Praxisgebiete. Serie 3 Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 2 Ingenieurpsychologie (495-529). Göttingen, Hogrefe.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.). *Human Mental Workload* (239-250). Amsterdam: North Holland Press.
- Haskell, I. D., & Wickens, C. D. (1993). Two- and three-dimensional displays for aviation: A theoretical and empirical comparison. In: *International Journal of Aviation Psychology*, 3, 87-109.
- Hegarty, M., Kozhevnikov, M. & Waller, D. (2011). *Perspective Taking / Spatial Orientation Test*. Abgerufen am 21.09.2011. Online unter:
<http://www.psych.ucsb.edu/~hegarty>
- Hendrix, C. & Barfield, W. (1997). Spatial Discrimination in Three-Dimensional Displays as a Function of Computer Graphics Eyepoint Elevation and Stereoscopic Viewing. In: *Human Factors*, 39(4), 602-617.
- Honeywell (1999). *TCAS/ACAS II (Change 7) Pilot's guide. Traffic Collision and Avoidance System TCAS 2000*. Honeywell Inc.
- Hopkin, D. V. (1995). *Human Factors in Air Traffic Control*. London: Taylor and Francis.
- Hopkin, V. D. (1994). Human performance implications of air-traffic control automation. In: M. Mouloua & R. Parasuraman (eds.). *Human Performance in Automated Systems: Recent Research and Trends* (314-319). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- ICAO (2001), *Air Traffic Management: Procedures for Air Navigation Services. Doc 4444 ATM/501*.
- Kaber, D. B. & Endsley, M. R. (1997). Out-of-the-Loop Performance Problems and the Use of Intermediate Level of Automation for Improved Control System Functioning and Safety. In: *Process Safety Progress*, 16(3), 126-131.
- Kirlik, A. (1993). Modeling strategic behavior in human-automation interaction: Why an "aid" can (and should) go unused. In: *Human Factors*, 35, 221-242.
- Kirwan, B. (2006). Safety Informing Design. *Safety Science*, 45(1-2), 155-197.

- Kluwe, R. H. (2006). Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. In: B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie*. Themenbereich D. Praxisgebiete. Serie 3 Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 2 Ingenieurpsychologie (35-71). Göttingen, Hogrefe.
- Kolrep, H. & Kindsmüller, M. C. (1995). *Der Einfluß von Automatisierung auf die Informationsaufnahme*. Institut für Psychologie, Technische Universität Berlin. Abgerufen am 16.07.2011. Online unter:
<http://www.zmms.tu-berlin.de/~mck/publications/opro9495.pdf>
- Köper, B. (2001). *Neue Anforderungen und Beanspruchungen in der Flugsicherung durch moderne technische Systeme*. Universität Dortmund: Unveröffentlichte Dissertation.
- Krüger, K. (2007). *Nutzen und Grenzen von 3D Anzeigen in Fahrzeugen*. Technische Universität Berlin: Unveröffentlichte Dissertation.
- Kuhl, J. (1983). *Motivation, Konflikt und Handlungskontrolle*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kuhl, J. (1994). Action and state orientation: Psychometric properties of the action control scales (ACS-90). In: J. Kuhl & J. Beckmann (Eds.). *Volition and personality: Action versus state orientation* (47-59). Göttingen: Hogrefe.
- Lang, J.W.B. & Fries, S. (2006). A Revised 10-Item Version of the Achievement Motives Scale - Psychometric Properties in German-Speaking Samples. In: *European Journal of Psychological Assessment*, 22 (3), 216-224.
- Lee, J. D. & Moray, N. (1992). Trust, control strategies, and allocation of function in human-machine systems. In: *Ergonomics*, 35, 1243-1270.
- Lee, P. U. & Klippel, A. (2005). Dynamic aspects of spatial information in air traffic controller displays. In: *AAAI 2005 Spring Symposium Series, Reasoning with Mental and External Diagrams: Computational Modeling and Spatial Assistance, Stanford*.
- Lienert, G. & Raatz, A. (2001). *Testanalyse und Testkonstruktion*. Weinheim: Beltz.
- Liu, Y. (1997). Software-User Interface Design. In: G. Salvendy (Hrsg.). *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (1690-1724). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Loft, S., Bolland, S., Humphreys, M. S. & Neal, A. (2009). A Theory and Model of Conflict Detection in Air Traffic Control: Incorporating Environmental Constraints. In: *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 15 (2), 106-124.
- Loft, S., Humphreys, M., & Neal, A. (2003). Prospective memory in air traffic control. In G. Edkins & P. Pfister (Eds.). *Innovation and consolidation in aviation* (287-293). Aldershot, England: Ashgate.

- Macmillan, N. A. & Creelman, C. D. (2005). *Detection Theory: A User's Guide (2nd ed.)*. NJ: Mahaw: Lawrence Erlbaum Associates.
- Meijer, F. & Van den Broek, E. L. (2010). Representing 3D virtual objects: Interaction between visuo-spatial ability and type of exploration. In: *Vision Research*, 50, 630-635.
- Mensen, H. (2004). *Moderne Flugsicherung: Organisation, Verfahren, Technik (3. Auflage)*. Berlin: Springer.
- Meyer, C., Nachtwei, J. & Kain, S. (2009). Der moderierende Effekt von Persönlichkeitsmerkmalen auf die Leistung von Operateuren bei der Prozessführung und -überwachung in komplexen Mensch-Maschine-Systemen. In: A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.). *Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (185-190). Düsseldorf: VDI.
- Mogford, R.H. & Nunes, A. (2003). Identifying controller strategies that support the "Picture". In: *Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Mosier, K. & Skitka, L. J. (1996). Human decision makers and automated decision aids: Made for each other? In: R. Parasuraman, and M. Mouloua (eds.). *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Nachtwei, J. (2008). *Testhandbuch zum Fragebogen zur Erfassung von Strategie und Expertise in Experimenten, revidierte Fassung (FESE-R)*. Humboldt Universität Berlin: Unveröffentlichtes Manuskript.
- Netzticker (2011). *Anflugkontrollarbeitsplatz*. Abgerufen am 09.09.2011. Online unter:
<http://www.netzticker.com/wp-content/uploads/fluglotsen.jpg>
- Newell, A. & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In: J. R. Anderson (Ed.). *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. In: *Human Factors*, 39(2), 230-253.
- Parasuraman, R. & Rovira, E. (2010). Transitioning to Future Air Traffic Management: Effects of Imperfect Automation on Controller Attention and Performance. In: *Human Factors*, 52(3), 411-425.
- Pekela, W. D. & Hilburn, B. (1997). *Air Traffic Controller Strategies in Resolving Free Flight Traffic Conflicts: The Effect of Enhanced Controller Displays for Situation Awareness*. Society of Automotive Engineers, Inc.

- Petermeier, B. (2012). *Konflikterkennungsleistung als Funktion von Displaydimensionalität, aktiver Perspektivensteuerung und auditiv-verbaler Zusatzbeanspruchung*. Universität Regensburg: Unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Piaelli, R. A., Erzberger, H., Chiu, D. & Heere, K. R. (2009). Tactical Conflict Alerting Aid for Air Traffic Controllers. In: *AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 32 (1).
- Rammstedt, B. & John, O.P. (2007). Measuring personality in one minute or less: A 10-item short version of the Big Five Inventory in English and German. In: *Journal of Research in Personality*, 41, 203-212.
- Rantanen, E. (2004). *Development and Validation of Objective Performance and Workload Measures in Air Traffic Control*. Oklahoma City, USA: Federal Aviation Administration Civil Aeromedical Institute.
- Rantanen, E. M. & Nunes, A. (2005). Hierarchical conflict detection in air traffic control. In: *International Journal of Aviation Psychology*, 15, 339-362.
- Reimann, P. & Rapp, A. (2008). Expertiseerwerb. In: A. Renkl (Hrsg.). *Lehrbuch Pädagogische Psychologie* (155-204). Bern, Hogrefe.
- Rosenholtz, R., Li, Y., Mansfield, J., & Jin, Z. (2005). *Feature Congestion: A Measure of Display Clutter*. Abgerufen am 12.11.2012. Online unter:
<http://web.mit.edu/rruth/www/Papers/RosenholtzEtAlCHI2005Clutter.pdf>
- Sanches, J., Krumbholz, C. J. & Silvia, M. O. (2010). *Controller-Automation Interaction in NextGen: A New Paradigm*. Abgerufen am 11.10.2011. Online unter:
http://www.mitre.org/work/tech_papers/2010/09_4925
- Sarter, N. & Woods, D. D. (1992). Pilot interaction with cockpit automation: Operational experience with the flight management system. In: *International Journal of Aviation Psychology*, 2, 303-321.
- Sarter, N. & Woods, D. D. (1994a). Decomposing automation: Autonomy, authority, observability, and perceived animacy. In: M. Mouloua and R. Parasuraman (eds.). *Human Performance in Automated Systems: Recent Research and Trends*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sarter, N. & Woods, D. D. (1994b). Pilot interaction with cockpit automation II: An experimental study of pilots' model and awareness of the flight management system. In: *International Journal of Aviation Psychology*, 4, 1-28.
- Sarter, N. & Woods, D. D. (1995b). *"Strong, Silent, and Out-of-The-Loop": Properties of Advanced (Cockpit) Automation and Their Impact on Human-Automation Interaction*. Technical Report CSEL 95-TR-01. Columbus, OH: Cognitive Systems Engineering Laboratory, Ohio State University.

- Seamster, T. L., Redding, R. E. and Kaempf, G. L. (1997). *Applied Cognitive Task Analysis in Aviation*. Aldershot: Avebury Ashgate Publishing Ltd.
- Sedgwick, H. A. (1986). Space Perception. In: K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.). *Handbook of Perception and Human Performance* (Vol. 1, 2101-2157). New York: Wiley.
- Sexton, G. A. (1988). Cockpit-Crew Systems Design and Integration. In: Wiener, E. L. & Nagel, D. C. *Human Factors in Aviation* (495-526). San Diego: Academic Press, Inc.
- Shepard, R & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensional objects. In: *Science*. 171(972), 701-703.
- Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): speculations on the role of presence in virtual environments. In: *Presence*, 6, 603-616.
- Smallman, H. S., St. John, M., Oonk, H. M. & Cowen, M. B. (2001). Information Availability in 2D and 3D Displays. In: *IEEE Computer Graphics and Applications - Applied Perception, September/October 2001*.
- Sollenberger, R. L. & Milgram, P. (1993). Effects of Stereoscopic and Rotational Displays in a Three-Dimensional Path-Tracing Task. In: *Human Factors*, 35(3), 483-499.
- Solso, R. L. (2005). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Springer.
- Spada, H. (2006). *Lehrbuch Allgemeine Psychologie (3. Aufl.)*. Bern: Hans Huber.
- Spreen, O., & Strauss, E. (1998). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms and commentary (2nd ed.)*. New York: Oxford University Press.
- St. John, M., Cowen, M. B., Smallman, H. S., & Oonk, H. M. (2001). The Use of 2D and 3D Displays for Shape-Understanding versus Relative-Position Tasks. In: *Human Factors*, 43(1), 79-98. Santa Monica, CA, USA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Stankovic, S., Raufaste, E. & Averty, P. (2008). Determinants of Conflict Detection: A Model of Risk Judgments in Air Traffic Control. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(1), 121-134.
- Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker, G. H., Baber, C. & Jenkins, D. P. (2005). *Human Factor Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. Hampshire, UK: Ashgate.
- Stein, E. S. & Garland, D. (1993). *Air traffic controller working memory: considerations in air traffic control tactical operations. Technical Report DOT/FAA/CT-TN 93/37*. Atlantic City, NJ: Federal Aviation Administration.

- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In: R. E. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (19-30). New York: Cambridge University Press.
- Swets, J. A. (1996). *Signal Detection Theory and ROC Analysis in Psychology and Diagnostics: Collected Papers*. Mahaw, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Tavanti, M. & Cooper, M. (2008). *Looking for the 3D picture: the spatio-temporal realm of student controllers*. Abgerufen am 23.08.2012. Online unter:
http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/Innovative_Studies/grants/2008/Looking_for_the_3D_picture.pdf
- Tavanti, M. (2004). *On the Relative Utility of 3D Interfaces*. Uppsala, Schweden: Unveröffentlichte Dissertation.
- Tavanti, M., Le-Hong, H. & Dang, T. (2003). Three-dimensional Stereoscopic Visualization for Air Traffic Control Interfaces: a Preliminary Study. In: *Proceedings of AIAA/IEEE 22nd Digital Avionics Systems Conference, Indianapolis Indiana*.
- Taylor, J. L., O'Hara, R., Mumenthaler, M. S., Rosen, A. C. & Yesavage, J.A. (2005). Cognitive ability, expertise, and age differences in following air-traffic control instructions. In: *Psychology and Aging*, 20(1), 117-133.
- Tory, M., Möller, T., Atkins, S. M. & Kirkpatrick, A. E. (2004). Combining 2D and 3D Views for Orientation and Relative Position Tasks. In: *CHI*, 6(1), 73-80.
- Tsang, P. & Wilson, G. F. (1997). Mental Workload. In G. Salvendy (Hrsg.). *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (417-449). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Tyndiuk, F., Lespinet-Najib, V., Thomas, G., & Schlick, C. (2007). Impact of Tasks and Users' Characteristics on Virtual Reality Performance. In: *Cyberpsychology & Behavior*, 10(3), 444-452.
- Van Merriënboer, J. J. G. & Ayres, P. (2005). Research on cognitive load theory and its design implications for e-learning. In: *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 5-13.
- Van Orden, K. F. & Broyles, J. W. (2000). Visuospatial task performance as a function of two- and three-dimensional display representation techniques. In: *Displays*, 12, 17-24.
- Vernaleken, C. (2011). *Autonomous and Air-Ground Cooperative Onboard Systems for Surface Movement Incident Prevention*. Oberhaching: Aviatic Verlag. Abgerufen am 31.07.2012. Online verfügbar unter:
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2611/>
- Waller, D. (2000). Individual differences in spatial learning from computer-simulated environments. In: *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(4), 307-321.

- Waller, D., Knapp, D., Hunt, E. (2001): Spatial Representations of Virtual Mazes: The Role of Visual Fidelity and Individual Differences. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 43(1), 147–158.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (1999). *Engineering Psychology and Human Performance* (3rd ed.). NJ: Prentice Hall.
- Wickens, C. D. (1995). *Display Integration of Air Traffic Control Information: 3D Displays and Proximity Compatibility*. University of Illinois at Urbana Champaign, Savoy, Illinois, USA: Final Technical Report.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple Ressources and Mental Workload. In: *Human Factors*, 50(3), 449-455.
- Wickens, C. D., & Carswell, C. M. (1995). The proximity compatibility principle: Its psychological foundation and relevance to display design. *Human Factors*, 37, 473–494.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., & Gordon Becker, S. E. (Hrsg.) (2004). *An Introduction to Human Factors Engineering* (2nd ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Wickens, C. D., Mavor, A. S. & McGee, J. P. (1997). *Flight to the Future: Human Factors in Air Traffic Control*. Abgerufen am 23.10.2011. Online unter:
<http://www.nap.edu/catalog/5493.html>
- Wickens, C. D., Rice, S., Keller, D., Hutchins, S., Hughes, J. & Krisstal, C. (2009). False Alerts in Air Traffic Control Conflict Alerting System: Is There a “Cry Wolf” Effect? In: *Human Factors*, 51 (4), 446-462.
- Wickens, C. D., Todd, S., & Seidler, K. (1989). *Three-dimensional displays: Perception, implementation and applications. Technical Report ARL-89-11/CSERIAC-89-1*. Savoy, IL: University of Illinois, Institute of Aviation.
- Wiener, E. L. & Nagel, D. C. (eds.) (1988). Cockpit automation. In: *Human Factors in Aviation*, San Diego: Academic Press.
- Wikipedia (2011). *Short Term Conflict Alert*. Abgerufen am 11.10.2011. Online unter:
http://de.wikipedia.org/wiki/Short_Term_Conflict_Alert
- Williges, R. C., Williges, B. H. & Fainter, R. G. (1988). Software Interfaces for Aviation Systems. In: Wiener, E. L. & Nagel, D. C. *Human Factors in Aviation*. (463-493). San Diego: Academic Press, Inc.
- Wingrave, C. A., Tintner, R., Walker, B. N., Bowman, D. A. & Hodges, D. A. (2005): Exploring Individual Differences in Raybased Selection; Strategies and Traits. In: *Proceedings of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality: IEEE Computer Society*, 163–170.

- Wittmann, D., Baier, A., Neujahr, H., Petermeier, B., Vernaleken, C. & Vogelmeier, L. (2011): Stereoskopische Anzeigen für die Flugsicherung. In: J. Adenauer, M. Elepfandt, A. Lichtenstein & S. Schmid (Hrsg.): *Reflexionen und Visionen der Mensch-Maschine-Interaktion. Aus der Vergangenheit lernen, Zukunft gestalten, 9. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme 2011 in Berlin*: Technische Universität Berlin.
- Wong, B. L. W., Rozzi, S., Boccalatte, A., Gaukrodger, S., Amaldi, P., Fields, B. Loomes, M. & Martin, P. (2007). *3D-in-2D Displays for ATC*. Abgerufen am 23.08.2012. Online unter:
http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/projects/CARE/CARE_INO_III/3D-2D_Report_Year1.pdf
- Wong, W., Gaukrodger, S. Han, F., Loomes, M., Sheperd, I., Field, B. & Amaldi, P. (2009). *3D-in-2D-Displays for ATC: Disruptive Technologies for Future Design*. Final Project Presentation. INO 2009. 8th EUROCONTROL Innovation Research Workshop, EEC, Bretigny. Abgerufen am 02.11.2011. Online unter:
<http://inoworkshop.eurocontrol.fr/2009/Slides/115.pdf?PHPSESSID=4d4db01ab24b2ccc86851fac3b062dcc>
- Woods, D. D. (1984). Visual momentum: A concept to improve the cognitive coupling of person and computer. In: *International Journal of Man-Machine-Studies*, 21, 229-244.
- Wottawa, H. & Thierau, H. (2003). *Lehrbuch Evaluation (3. Aufl.)*. Bern: Hans Huber.
- Xu, X. & Rantanen, E. M. (2003) Timing of discrete actions: Evidence for perceptual dominance in human performance. In: *Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Zimmer, A. (2003). Über die Ergonomie hinaus – Neue Wege zu einer menschengerechten Technikgestaltung. In: J. Kubitzki (Hrsg.). *Der sichere Fahrer – ein Mythos? Erreichtes und Strittiges auf dem Gebiet der Verkehrssicherheit* (75–83). Köln: TÜV-Verlag.
- Zimmermann, C. (2001). *Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen*. Universität Dortmund: Unveröffentlichte Dissertation.
- Zudilova-Seinstra, E. Van Schooten, B. Suinesiaputra, A., Van der Geest, R., Van Dijk, B., Reiber, J. & Sloat, P. (2010). Exploring individual user differences in the 2D/3D interaction with medical image data. In: *Virtual Reality*, 14(2), 105–118.